



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



"EVALUACION DEL IMPACTO DE LOS METALES PESADOS DEL AGUA RESIDUAL PROVENIENTES DE LA CIUDAD INDUSTRIAL DEL VALLE DE CUERNAVACA (CIVAC), EN EL RECURSO SUELO Y EN CULTIVOS EN LOS MUNICIPIOS DE JIUTEPEC, EMILIANO ZAPATA Y XOCHITEPEC, EDO. DE MORELOS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

P R E S E N T A:

JUAN CENOBIO TORRES MORALES

Asesores: M. en C. Edvino Josafat Vega Rojas
Ing. Jesús Garza Inojoza

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

INTRODUCCION.....	1
1 OBJETIVOS.....	4
2 RESUMEN.....	5
3 PANORAMA DEL USO DE AGUAS RESIDUALES.	
3.1 Cantidad del agua residual.....	7
3.2 Calidad del agua de reuso.....	15
3.3 Normatividad.....	17
3.4 Ventajas y desventajas del reuso.....	22
3.5 Sistemas de Tratamiento.....	24
4 LOS METALES PESADOS.	
4.1 Características.....	26
4.1.1 Comportamiento.....	28
5 EFECTOS DE LOS METALES PESADOS.	
5.1 Fuentes, distribución, absorción y efectos de metales en el ser humano.	
5.1.1 Plomo (Pb).....	31
5.1.2 Cadmio (Cd).....	36
5.1.3 Cromo (Cr).....	38
5.1.4 Zinc (Zn).....	40
5.1.5 Hierro (Fe).....	42

5.2 Efecto de los metales en cultivos.	
5.2.1 Plomo (Pb).....	43
5.2.2 Cadmio (Cd).....	45
5.2.3 Cromo (Cr).....	46
5.2.4 Zinc (Zn).....	47
5.2.5 Hierro (Fe).....	47
5.3 Efecto de los metales en los suelos.	
5.3.1 Plomo (Pb).....	48
5.3.2 Cadmio (Cd).....	49
5.3.3 Cromo (Cr).....	51
5.3.4 Zinc (Zn).....	52
5.3.5 Hierro (Fe).....	52
6 MATERIALES Y METODOS.	
6.1 Estudios de la contaminación del agua en Morelos..	53
6.2 Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC).	57
6.3 Planta de tratamiento (ECCACIV).....	60
6.4 La Zona de Estudio.	
6.4.1 Superficie irrigada y producción.....	65
6.4.2 Clasificación de los suelos de la región.....	66
6.4.3 Zona de Muestreo.....	73
6.4.4 Metodologías.....	77

7 ANALISIS DE RESULTADOS.....	78
8 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	116
BIBLIOGRAFIA.....	119
ANEXOS.....	121
1	
2	
3	
INDICE DE CUADROS.....	133
INDICE DE LAMINAS.....	134
INDICE DE FIGURAS.....	134

I N T R O D U C C I O N

En la actualidad los aspectos de deterioro ecológicos, no son temas de cultura general, sino problemas reales, que están afectando el bienestar de la población en general y los recursos naturales en particular. El desarrollo industrial y el crecimiento de la población han contribuido irreparablemente a la contaminación ambiental y ocupacional, debido a la abundante cantidad de contaminantes generados.

Con el crecimiento de la población se ha incrementado la demanda de alimentos, mientras que el sector agrícola en el país no ha tenido mejoras en sus condiciones de producción limitadas por factores de orden climáticos, como técnicos y económicos: el 70% del territorio es considerado como árido y semiárido y el 30% aproximadamente es subtropical, esto representa 20 millones de ha de temporal y 8.7 millones como de riego; de lo cual surge la necesidad imperiosa de usar aguas residuales, optimizar tecnológicamente el temporal y el riego.

La demanda creciente de agua siempre ha sido la norma, por lo que se cuida y optimiza el recurso, se realizan múltiples inversiones en el sector hidráulico, tanto en infraestructura como en la formación de recursos humanos y se definen políticas y estrategias para cuidar el vital líquido.

La industria presenta grandes problemas a resolver, como su concentración en regiones, donde es muy costoso llevarles el agua para los procesos de producción y la cantidad de contaminantes generados.

La población y la industria, generan grandes volúmenes de agua residual que se utilizan para la agricultura, para intentar superar la incertidumbre de una agricultura temporalera. Dichas descargas se utilizan parcialmente tratadas o sin ningún tratamiento, lo que representa un riesgo para la salud, tanto por los organismos patógenos que contiene, como por los metales tóxicos muy frecuentes en éstas aguas.

En el país existe la legislación en relación a los límites máximos permisibles para el uso de aguas residuales, relacionando cantidad de organismos patógenos, límites de supervivencia de los mismos, cultivos recomendables y metales tóxicos, previniendo la contaminación de hortalizas que tienen contacto directo con estas aguas y que se consumen en fresco.

Con relación a los metales pesados, tales como : el plomo, cadmio, cromo, arsénico, mercurio etc., considerablemente peligrosos para el medio ambiente, por acumularse progresiva e incorporarse a cadenas alimenticias, pudiendo llegar al hombre. Pese a lo anterior sólo se ha vigilado la normatividad en relación al impacto de los metales pesados de las aguas residuales y no existen la legislación de los límites máximos permisibles de metales para suelos y cultivos.

Este estudio pretende evaluar el impacto de metales pesados del agua residual industrial de CIVAC (Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca), utilizadas en suelos de uso agrícola y en cultivos de tres municipios: Jiutepec, Emiliano Zapata y Xochitepec, en el estado de Morelos, atendiendo el daño ecológico que se ha registrado por el uso de este tipo de aguas. La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) en 1991, restringió en la región la producción de hortalizas que se consumen en fresco y que tienen contacto con el suelo o el agua.

Se ha observado daños en los cultivos locales, muchos de los cuales presentan quemaduras en la etapa de floración, un poco antes de la producción, también se encuentran manchones de plantas marchitas en cultivos muy verdes, al parecer por el efecto de la combinación de varios metales, pese a lo anterior la literatura define pocos daños a la producción y a los suelos por metales pesados.

En la zona estudiada muchos de los suelos agrícolas se utilizan para otro tipo de actividad como es la venta del horizonte superficial del suelo o de parcelas completas para la producción de adobe, utilizado en la fabricación de tabique rojo. Los resultados de esta explotación son: desplazamiento de la capa arable, hoyos en las tierras de cultivo, frecuentes inundaciones provocadas por el riego, basura que queda en la superficie después del riego y aromas fétidos impregnados en la zona; convirtiendo esta áreas agrícolas en improductivas e inservibles en la mayoría de los casos y en consecuencia son abandonadas.

Lo anterior ha generado diferencias políticas muy fuertes, graves problemas económicos para los campesinos que han visto afectada su salud y son comunidades expuestas de alto riesgo, por la contaminación ambiental y ocupacional presente en la zona.

Los objetivos centrales de este estudio son: determinar las concentraciones de metales pesados el agua de riego, los niveles presentes en los suelos de uso agrícola y el contenido y comportamiento de los metales pesados en los cultivos locales analizando raíz, tallo, hoja y fruto, a fin de conocer niveles de acumulación en esos órganos. También se intenta definir la distribución de los metales en la zona tomando como fuente el área industrial de CIVAC, para conocer si existe una depuración natural o algún amortiguamiento o caída en los niveles de contaminación.

Las limitantes de este trabajo son varias, pero fundamentalmente que muy general (lo cuál también provocó que no se utilizaran otros sistemas de análisis estadístico, como correlaciones y regresiones), debido a que se buscó estudiar una zona muy extensa formada de tres municipios, la corriente que atraviesa los mismos y seis cultivos como el maíz en los tres muestras, dos caña de azúcar, arroz una, cebolla, frijol y jicama cada uno con una muestra, y los metales estudiados fueron plomo, cadmio, cromo, hierro y zinc. Por lo anterior se recomienda hacer estudios altamente específicos que atiendan los siguientes aspectos: en agua cantidad y calidad, suelos tipos y características, cultivos especie, ciclos, daños, alternativas, variedades cultivadas etc..

1 OBJETIVOS

- * CONOCER LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE CIVAC, CON LA DETERMINACION DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN AGUA, SUELO Y CULTIVOS.**

- * DEFINIR LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN LOS ORGANOS VEGETATIVOS Y PRODUCTIVOS DE DIFERENTES CULTIVOS AGRICOLAS DE LA REGION.**

- * SABER SI SE PRESENTA UNA DEPURACION NATURAL EN LOS RECURSO AGUA, SUELO Y CULTIVOS EN LA ZONA DE ESTUDIO, TOMANDO COMO PUNTO DE ORIGEN LA ZONA INDUSTRIAL DE CIVAC.**

2 RESUMEN

La necesidad de abastecer de agua a la población, la industria y la agricultura es una preocupación en nuestro país; por ello se estudia con detenimiento su uso, distribución, aprovechamiento y reúso de este vital líquido. En la actualidad se enfrenta un gran problema relacionado con la cantidad y calidad del agua residual proveniente de ciudades e industrias, que se utilizan en la agricultura con o sin tratamiento. En este sentido, se realizan acciones tendientes a disminuir los riesgos de contaminación, enfermedades y deterioro de los recursos naturales.

El peligro de usar aguas residuales en el campo radica en dos aspectos fundamentales: por un lado las aguas domésticas contienen gérmenes patógenos que pueden causar problemas de salud al contaminar suelos y cultivos irrigados; y por otro, el agua de origen industrial posee entre otros elementos una considerable cantidad de metales pesados, los cuales son peligrosos por su carácter acumulativo en el medio ambiente y por que pueden incorporarse a varias cadenas alimenticias, llegando al hombre.

Entre los metales de mayor riesgo que se presentan en las aguas residuales de origen industrial están el plomo, cadmio, cromo, mercurio, fierro y zinc, entre otros, se ha comprobado que ocasionan daños irreversibles en el ser humano, plantas y suelos; ya que se van acumulando poco a poco y con el paso del tiempo se ven sus efectos. Existen muchos factores que pueden causar alteraciones similares encubriendo de esta manera, el verdadero peligro que representan estos metales; por ello, es difícil hacer un seguimiento de los daños que ocasionan, pese a que existe un reglamento de los límites máximos permisibles para el agua y falta para suelos y cultivos.

El presente trabajo se desarrolló en tres municipios de Morelos: Jiutepec, Emiliano Zapata y Xochitepec, por considerarse como las zonas de mayor contaminación en este estado; a la región llegan las aguas de (CIVAC), que posteriormente se utilizan para el riego agrícola. Es importante señalar que en ese trayecto existe una planta de tratamiento por medio de lodos activados - Empresa para el Control de la Contaminación de las aguas de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (ECCACIV)- la cual recibe las descargas de las industrias que llegan por sus colectores industriales, siguiendo después por la barranca Puente Blanco una vez ya tratadas, son utilizadas en el riego agrícola de aquellos municipios.

Se consideró al plomo, cadmio, cromo, fierro y zinc, analizando la corriente de agua que atraviesa la zona estudiada, los suelos de la región y los cultivos que en ella se producen como el maíz, caña de azúcar, arroz, frijol, cebolla y jicama.

Para la evaluación de los resultados de las determinaciones en el agua, se tomó como punto de referencia la legislación vigente en nuestro país y algunos puntos de vista como los de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), Asociaciones Civiles y algunos estudios de otros autores.

- Las concentraciones de plomo (Pb), Zinc (Zn) y Cromo (Cr), en todo el cuerpo de agua no llegan a los máximos permisibles determinados por la legislación mexicana, rebazando ese límite el cadmio en algunos casos, Cromo según la Norma Técnica Ecológica y Fierro que supera siempre las 5 ppm, señaladas por esta última fuente y por Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

- Existe una disminución de la concentración de metales, después de pasar por la planta de tratamiento de ECCACIV, debido al sistema de tratamiento mediante lodos activados.

- Los niveles de Fe superaron siempre a todos los metales, siguiendo en forma decreciente el Cr, Zn, Pb y Cd.

- Los suelos de la región se consideran aptos para la agricultura agrícola, poseen alta capacidad de intercambio catiónico, pH ligeramente ácido a neutro, son ricos en materia orgánica, textura arcillosa, buena retención y aprovechamiento de humedad, son profundos y tienen una pendiente uniforme en la mayoría de los casos; predominan los Vertisoles y en segundo lugar Litosoles.

- La concentración de metales pesados en los primeros 60 cm del suelo, fue elevada para el zinc y superó con mucho al fierro, cromo, plomo y cadmio.

- Tomando como punto de referencia el origen de la contaminación y el punto más lejano, los metales pesados muestran una tendencia a disminuir, pese a los aportes de nuevas descargas de aguas residuales.

- Se observó una mayor concentración metales pesados en la primera profundidad disminuyendo con el aumento de la misma.

- En general la concentración de metales en este estudio fue muy parecido a los reportados de otras zonas regadas con aguas residuales.

- Los metales que mejor fueron absorbidos por las plantas fueron el fierro, plomo y zinc, superando con mucho el primero a todos los metales.

- Los niveles más altos se presentaron en los sistemas radicales, lo que también provocó un incremento en las concentraciones de los metales, al compararse muestras tomadas a sitios distantes tomando como referencia la zona industrial.

3 PANORAMA DEL USO DE AGUAS RESIDUALES

3.1 Cantidad del agua residual.

El problema de falta de agua para todos los sectores en México, se puede entender en términos de la creciente demanda por los sectores social, industrial y agrícola, la cantidad disponible, distribución por zona geográfica durante el año, localización de los centros de demanda, cantidad y calidad del agua residual generada, falta de infraestructura de tratamiento, el mal manejo del recurso, entre otros factores.

Altamirano, René (1991), indica que en el norte de México se tiene un escurrimiento de 12,300 millones de m³ que representan 3% del total, en un área equivalente al 30% del país, mientras que 205,000 millones de m³ están en el sureste, que representa el 50% de la disponibilidad total, en un área no mayor al 20 % del territorio. Más del 85% del agua del país se encuentra en la zona menor a los 500 metros sobre el nivel del mar, mientras que más del 70% de la población y 80% de la planta industrial se localizan por arriba de 500 metros, de la industria el 55% se encuentra en el valle de México, que sufre graves problemas de agua; esto representa problemas de disponibilidad o acceso al recurso hidráulico.

En la actualidad nuestro país enfrenta dos grandes retos: satisfacer la demanda de agua por la industria y la población y tratar la cantidad del agua residual generada, a fin de disponer o utilizar este recurso para actividades de recreo, industriales y agrícolas, cuidando la salud de la población y el medio ambiente; lo cual representa un gran reto a corto, mediano y largo plazo.

Calderón, José Luis (1991), muestra en el cuadro 1, la cantidad de agua residual generada en el país, las descargas municipales son de 120 m³/s tratándose 30 m³/s en un total de 361 plantas, lo que representa que menos del 8% de éstas aguas reciben tratamiento adecuado; del caudal industrial generado que es de 82 m³/s sólo se tratan 15% y a nivel nacional el tratamiento para las aguas residuales en general es de apenas el 10%. La superficie bajo riego con agua residual es de 314,000 ha de las cuales 20,591 se habían cultivado con hortalizas, las 294,409 restantes se utilizaron para otros cultivos.

En la lámina 1 y 2 se aprecia que del riego total en el país el 6% se da con aguas residuales en 350,000 ha, correspondiendo 24,100 ha en hortalizas y 325,900 en otros cultivos; hasta abril de 1992 se habían cancelado 21,570 ha y están en proceso 2,530.

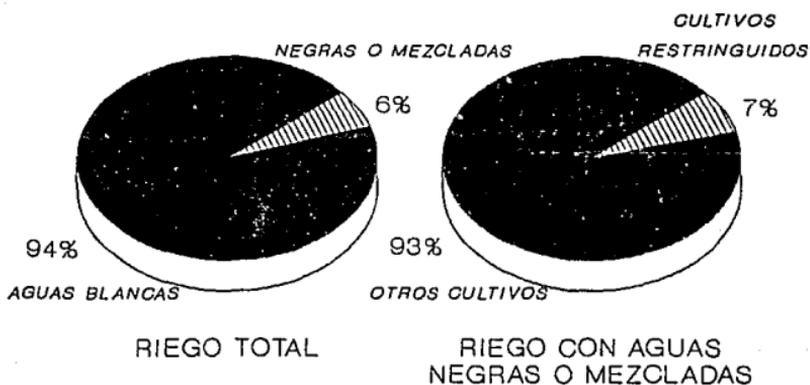
Cuadro 1. Programa agua limpia, diagnóstico 1991.

SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO	
Población servida con agua potable	70%
Población servida con alcantarillado	49%
CLORACION DE AGUA POTABLE	
Caudal total a localidades >10,000 hab.	120 m ³ /s
Caudal clorado	68 m ³ /s
en localidades	57
Caudal por clorar	52 m ³ /s
en localidades	155
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Caudal municipal generado	120 m ³ /s
Número de plantas instaladas	361
Capacidad instalada	30 m ³ /s
Porcentaje de Eficiencia de plantas	33%
Caudal Nacional Tratado	10%
Caudal Industrial generado	82 m ³ /s
Capacidad de tratamiento	15%
RIEGO CON AGUAS RESIDUALES	
Superficie bajo riego	314,000ha
Superficie de hortalizas y otros productos que se consumen crudos, bajo riego.	20,591 ha

Fuente. Memoria del taller agua y desarrollo sostenido. Cd. Obregón, Sonora. "Programa agua limpia y el manejo de agua residual". Ing. José Luis Calderón. 1991.

PROGRAMA AGUA LIMPIA

SITUACION DEL RIEGO CON AGUAS RESIDUALES EN ABRIL DE 1991

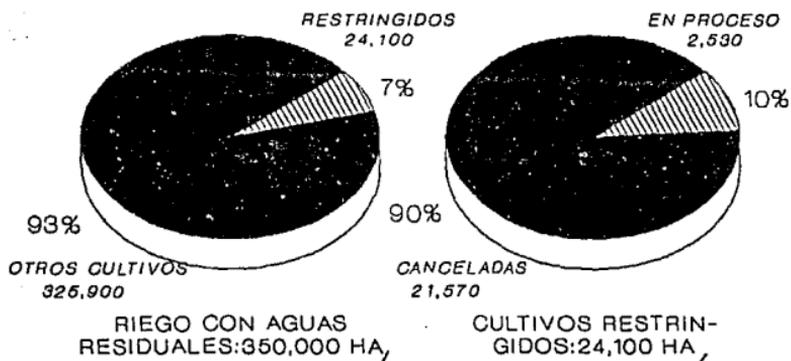


COMISION NACIONAL DEL AGUA

PROGRAMA AGUA LIMPIA

CONTROL DEL RIEGO CON AGUAS RESIDUALES

ABRIL 1991 - ABRIL 1992



COMISION NACIONAL DEL AGUA

Arango Maldonado, José (1990), señala que con el objeto de aprovechar las aguas residuales en algunos procesos industriales simples o bien para algún fin que no represente daño, se han construido 364 plantas de tratamiento, según un censo realizado por la SEDUE en el año de 1986; de éstas 177 corresponden a la industria y 187 a los municipios con una capacidad instalada de 12.2 m³/s y 16.2 m³/s respectivamente, lo que representa un total de 28.4 m³/s en toda la República. En lo que se refiere a operación de éstas plantas se ha estimado a nivel de diagnóstico que el 70 % de la infraestructura no opera, el 20 % opera deficientemente por encontrarse sobrecargado hidráulicamente y el 10 % restante no cumple con la calidad requerida.

La capacidad instalada en porcentaje y por tipo de tratamiento es la siguiente: Lagunas de oxidación:45%; Lodos activados: 43%; tanques IMHOFF:2%; Lagunas de estabilización 2%; Zanjas de oxidación 2%; Filtros rociadores y otros:6%; Lagunas aireadas:1% . Así mismo existen más de 100 lagunas para tratar agua para riego agrícola.

El cuadro 2 indica la Infraestructura de Plantas de Tratamiento tanto industrial como municipal, con un total de 91 y 130 respectivamente. El D.F. y el Estado de México presentan 42 plantas de tratamiento industrial, casi el 50% de la infraestructura a nivel nacional y 34 plantas municipales; les siguen en importancia Jalisco con 17 de tipo industrial y 18 municipal; 12 industriales y 6 municipales en Nuevo León; las capacidades instaladas son en consecuencia encabezadas por los mismos estados.

La cantidad del agua residual generada, se calcula para las grandes ciudades como el D.F. de 46 m³/s, Monterrey 8.5 m³/s y Guadalajara 8.2 m³/s ; lo que representa 34% del total generado a nivel nacional, estimado en 184 m³/s, de los cuales 105 corresponden a la población y 79 m³/s a la industria.

En el área metropolitana de la ciudad de México destaca con 25 plantas de tratamiento con capacidad instalada de 7.7 m³/s que representa un 27% del total de la República y en Monterrey 18 plantas con 2.1 m³/s y representa el 7.4% .

Sancho y Cervera, Jaime (1990) estima que para tratar la totalidad de las aguas residuales de origen doméstico (sin incluir el D.F. y Guadalajara) se requiere una inversión del orden de 7.2 billones de pesos (2.5 en alcantarillado y 4.7 en sistemas de tratamiento), mientras que para el tratamiento las aguas industriales se requieren otros 4 billones de pesos. La inversión estimada para el D.F. y Guadalajara es de 1.5 billones de pesos adicionales. Para lograr que el 65% de las aguas residuales reciban tratamiento en 1994, se requiere una inversión anual de 0.8 billones de pesos, lo que significa, triplicar el ritmo de inversión actual. De esta manera se cubrirían los 120 m³/s en un período de 8 años.

Cuadro 2. Resumen de la infraestructura de tratamiento industrial y municipal.

ESTADO	PLANTAS INDUSTRIALES				PLANTAS MUNICIPALES			
	NUM. PLANT.	CAP. INST.(LPS)	DBO (TON /AÑO)	TRAT. SEC.	NUM. PLANT.	CAP. INST.(LPS)	DBO (TON /AÑO)	TRAT. SEC.
AGS					4	9	0	4
BCN					5	819	3556	5
BCS					5	113	653	5
CAM								
COAH	5	545	9446	4	8	1173	2133	8
COL	2	103			11	2247	1675	11
CHIS	1	127	1111	1				
CHIH	1	282	4977	1	3	589	2548	3
DF	13	593	5550	7	16	4414	32020	15
DGO					5	750	2210	5
GTO	6	447	6882	5	3	1433	2128	3
GRO					12	343	2997	12
HGO	2	600	10589	1	2	5	31	2
JAL	17	416	5371	11	18	731	4500	18
MEX	29	2955	12515	7	15	1094	16638	15
MICH	2	80			8	795	5505	8
MOR	1	200	2771		6	43	267	6
NAY					3	30	46	3
NL	12	1183	3501	5	6	361	1432	6
TOTAL	91	7,348	62,713	42	130	14,949	78,848	129

Fuente. Arango Maldonado, José Manuel.(1990). Taller Internacional de reuso del agua en la agricultura. Experiencia México-Israel. Ponencia "Panorama general sobre la reutilización del agua en el riego agrícola, en México".

En el cuadro 3 se propone controlar las descargas de aguas residuales por estado así como los contaminantes y promover un sistema de tratamiento. Se aprecia el volumen de agua residual generada por algunas ciudades, destacando el área metropolitana con 980 millones/m³/año, le sigue Nuevo León con 158, Sonora 80, 76 Coahuila, Chihuahua 68 entre otros; así mismo la superficie regada en ha corresponde casi a los mismos estados a excepción de Puebla donde se riegan 17,580 ha, ocupando el segundo lugar precedido por el D.F. con 85,000 ha, el tercer lugar lo ocupa Nuevo León con 14,440, el cuarto Coahuila con 6,958 etc.. A nivel nacional destacan entre los cultivos irrigados con aguas residuales, el maíz, frijol, trigo, sorgo, algodón, alfalfa etc.; los contaminantes más frecuentes son los coliformes, tóxicos, nutrientes, grasas y aceites. Los tratamientos a las descargas se muestran generalmente como nulos y en los casos en que se presentan se dan por lagunas de estabilización, lodos activados etc..

Se estima que de no considerarse el aprovechamiento de las aguas residuales para el año 2000, sería necesario cerrar al cultivo una superficie de 115,000 ha.

CUADRO 3. Efluentes de aguas residuales de las principales ciudades para riego agrícola.

EDO.	VOL. ANUAL MILL/M ³ AL AÑO	SUPERF HA	CULTIVOS PRINCIPALES	PRINCIPALES CONTAMINANTES	TRATAMIENTO
GTO	52.23	4747	trigo, maíz, sorgo	coliformes y nutrientes	no
AGS	41.94	3813	trigo, maíz y vid	colif., tóxicos, nutrientes.	no
CHIH	68.96	6414	algodón, trigo, manzana	coliformes y sól. suspendidos	no
GRO	1.72	156	copra, frijol y maíz	coliformes	no
COL	10.86	987	maíz, frijol y sorgo	coliformes	Lagunas Estab.
COAH	76.59	6958	algodón, alfalfa, trigo	coliformes	no
DGO	23.79	2157	trigo, sorgo y alfalfa	colif. y nutrientes	Aéro. y anaerb.
ZAC	10.93	568	maíz, alfalfa y sorgo	coliformes	no
SON	80.61	5224	citricos, trigo, sorgo	grasa, aceites y tóxicos	no
BCS	6.90	627	trigo, algodón, alfalfa	coliformes	T. IMHOFF Lagunas
MIC	2.88	262	maíz, frijol, citricos	coliformes	
TAM	17.97	1633	trigo, maíz y sorgo	DBO, grasas y aceites	n
NL	158.80	14440	maíz, trigo y citricos	diversidad	

Fuente. Arango Maldonado, José Manuel. (1990). Taller Internacional de reúso del agua en la agricultura. Experiencia México-Israel. Ponencia "Panorama general sobre la reutilización del agua en el riego agrícola, en México".

3.2 Calidad del agua de reuso

La calidad del agua residual se expresa en función de sus niveles de contaminación, producto de un acelerado crecimiento de la población y la industria, así como los daños probables a la salud pública y al medio ambiente. Se consideran los microorganismos y sustancias tóxicas, entre los que podemos señalar los detergentes, grasas, aceites y metales pesados; la presencia mayor o menor de éstos dependerá de si las aguas descargadas son de origen doméstico o industrial.

La contaminación del agua se puede entender cuando ya no puede utilizarse para lo que estaba destinada, es decir cuando ya no sirve para ser bebida por los hombres y animales, no soporta una vida marina sana o cuando ya no es útil.

Se considera como contaminación la presencia de cualquier sustancia cuyo contenido excede su concentración natural, como resultado de la actividad humana, provocando a la vez un efecto perjudicial en el ambiente.

La contaminación es, en otras palabras, la presencia en el medio de toda materia o sustancia o compuesto derivados químicos y biológicos o cualquier combinación de ellos que perjudican o molestan la vida, la salud, el bienestar humano, la flora y la fauna.

El contaminante causa una degradación en la calidad del aire, del agua, la tierra de los bienes y otros recursos de un país en general y en lo particular de sus habitantes. El efecto adverso de la acumulación de materiales o de energía se presenta porque no son eliminadas fácilmente del sistema y exceden su capacidad natural o bien porque se acumulan en alguna etapa del proceso cíclico, del medio y asimismo alteran su equilibrio, Carrillo, Rogelio. (1989)

Los datos que presenta la SSA para 1989, reflejan la necesidad de cuidar la calidad del agua, ya sea para consumo humano o bien para el riego de cultivos: de un total de 400,310 muertes en 1989, 29,639 fueron infecciosas de tipo intestinal ocupando el tercer lugar después de accidentes y enfermedades cardíacas y tumores malignos. Para este mismo año se presentaron 3 517,367 padecimientos de enfermedades intestinales, 2 381,442 (67.7%) corresponden a infecciones intestinales, 1 millones en edades de 1 a 4 años y otro entre los 15 y 64, enteritis y otras; 1 035,733 (29.4%) amibiasis, 45,005 (1.3%) intoxicaciones alimenticias bacterianas, 41,285 (1.2%) giardiasis y Shigelosis 13,901 (0.4 %).

Para referirse a la calidad del agua residual se debe mencionar que el sistema de gobierno actual está demostrando un gran interés por la calidad del agua, por ello ha impulsado un Plan Nacional para salvaguardar la salud de la población y cuidar el medio ambiente, que actualmente están muy deteriorados. Así ha surgido el programa "AGUA LIMPIA" que atiende por decreto presidencial los siguientes aspectos:

- a) Servicios de agua potable y alcantarillado.
- b) Cloración del agua potable.
- c) Tratamiento de aguas residuales.
- d) Riego con aguas residuales.

También la estrategia abarca seis puntos principales:

Primero: Intensa movilización de todos los grupos ecologistas y de la sociedad en su conjunto.

Segundo: definir con criterios realistas de los estándares mínimos de calidad de agua potable y los de las aguas residuales.

Tercero: Instrumentar el cobro de los derechos por el uso de cauces y cuerpos de agua para alejar la contaminación, es decir quien más contamine más habrá de pagar.

Cuarto: Atender los problemas graves con sistemas de tratamientos avanzados.

Quinto: En el país se vierten 120 m³/s de aguas residuales, se tratará la mitad con lagunas de oxidación para que puedan utilizarse en la agricultura, protegiendo a agricultores y consumidores. La otra mitad recibirá tratamiento secundario adicional para que aquellos cuerpos de agua tengan buena calidad y puedan llegar a ríos y mares.

Sexto: Fortalecer los programas de capacitación, formación de recursos humanos, investigación y transferencia de tecnología. SARH, 1984. Manual de aprovechamiento de aguas residuales.

3.3 Normatividad

En general los criterios e índices tradicionales, de clasificación del agua para determinar la conveniencia o limitación de su uso con fines de riego, toman como base el contenido de sales solubles, el efecto probable del sodio sobre las características físicas de los suelos y el contenido de elementos tóxicos para las plantas. Calderón Bartheñeuf, José Luis (1992).

Para normar sobre la calidad y el uso de las aguas residuales, se han definido varios criterios, como son: color, olor, grasas y aceites, detergentes, fenoles, plaguicidas, compuestos tóxicos, demanda química y bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, coliformes y supervivencia, cultivos, tipo de agua etc..

En el reglamento de aprovechamiento del agua residual emitido en 1988 en el Diario Oficial de la Federación, se define al agua residual como el desecho líquido de composición variada, proveniente de cualquier uso anterior del agua, excepto hidrogenación. Un cuerpo receptor, es toda corriente, río, cause, vaso, o depósito de agua que sea susceptible de recibir en forma directa o indirecta la descarga de aguas residuales. Descarga es el conjunto de aguas residuales que se vierten o depositan en algún cuerpo receptor.

Se ha normado en relación a las aguas residuales atendiendo sus dos aspectos principales: La presencia de patógenos y el contenido de metales pesados.

En el cuadro 4 se aprecia la actual Norma para el uso de las aguas residuales en el riego agrícola, destaca el control del riego por aspersión aceptándolo para algunas hortalizas y donde el tipo de agua es 1, esto es, que contenga menos de 1000 coliformes y ningún huevo de helminto; del riego por inundación y surcos en hortalizas se prohíbe donde el agua contenga más de 1000 coliformes totales y un huevo de helminto, que se refiere a los tipos de agua 3 y 4

El intervalo mínimo para la cosecha se basa en FECHAEM, F.G. ET AL. Sanitation and Disease: Health of Secreta and Wastewater Management. Chichester, John Wiley, 1983; donde se muestra que la supervivencia de virus y bacterias es menor 15 días en cultivos y menos de 20 en suelos, protozoarios menos de 2 y 10 en cultivos y suelos respectivamente, helmintos menor 30 días en cultivos y muchos meses en suelos.

Cuadro 4. Norma para el uso de aguas residuales en riego agrícola.

TIPO DE RIEGO	TIPO DE AGUA	INTERVALO MÍNIMO ENTRE ÚLTIMO RIEGO Y COSECHA DÍAS	CULTIVOS NO PERMITIDOS
INUNDACION	1	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3-III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON Y SANDIA
	2	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3-III, EXCEPTO MELON Y SANDIA
	3	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART. 3-III
	4	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART. 3-IV
SURCO	1	15	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3-III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON, SANDIA, ASI COMO TOMATE VERDE O DE CASCARA
		20	LIBRE CULTIVO
	2	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3-III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON, SANDIA, ASI COMO TOMATE VERDE O DE CASCARA
	3	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3-III, EXCEPTO MELON Y SANDIA
ASPERSION	1	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3-III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON Y SANDIA
	2	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3-IV
	3		
	4		

Artículo 3 Fracción III. Acelga, ajo, apio, berro, brécol, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, espinaca, espinaca, hongo, lechuga, papalo, perejil, quilito, quintonil, rábano, yerbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cascara, con excepción de las cinco últimas, cuando se siembran con espaldera. Se equiparan a estas hortalizas los siguientes frutos: fresa, jicama, melón, sandía y zarzamora.

Artículo 3 Fracción IV. Las señaladas en la fracción III y todas las demás hortalizas y frutos en general.

Tipo de agua.-Tipo 1.- Menos de 1000 coliformes totales por 100 ml y ningún huevo viable del helminto por litro de agua. **Tipo 2.-** De 1 a 1000 coliformes fecales por 100 ml y cuando más un huevo viable de helminto por litro. **Tipo 3.-** De 1001 a 100,000 coliformes fecales por 100ml. **Tipo 4.-** Más de 100,000 coliformes fecales por 100 ml.

Fuente. Norma Técnica Ecológica NTE-CCA-032/92. Diario Oficial de la Federación, SEPTIEMBRE 24 DE 1991.

El cuadro 5 muestra los criterios de contaminación de los cuerpos de agua, se definieron recientemente las normas técnicas aplicables a todo cuerpo de agua que se quiera utilizar en la agricultura, destaca los límites para metales pesados, como el plomo y fierro establecido en 5 ppm, zinc 2, cromo hexavalente 1 y 0.01 para cadmio.

Cuadro 5. Límites máximos de la calidad de las aguas residuales para el riego agrícola.

Acroelina	0.1	Fosforo total *	5.0
Aldrin	0.02	Heptacloro	0.02
Aluminio	5.0	Niquel	0.2
Antimonio	0.1	Nitratos *	30.0
Arsénico	0.1	Nitrógeno total	30.0
Bicarbonatos *	100.0	Plomo	5.0
Berilio	0.1-0.5	Potasio	250.0
Boro	0.7-3.0	Potencial de hidrógeno	4.5 a 9.0
Cadmio	0.01	Relación de adsorción de sodio (meq/l) *	18.0
Carbonato de sodio residual (meq/l) *	2.5	Salinidad efectiva (meq/l) *	15.0
Cianuro	0.02	Salinidad potencial (meq/l) *	15.0
Clordano	0.003	selenio (como selenato)	0.02
Cloruros	147.5	Sodio *	250.0
Cobra	0.20	Sólidos disueltos	500.0
Conductividad Electrica (umhos/cm)	1000.0	Sólidos suspendidos	50.0
Cromo hexavalente	1.0	Sulfatos	130.0
DDE	0.04	Toxafeno	0.005
Dieldrin	0.02	Zinc	2.0
Fierro	5.0	Radioactividad: Alfa total (Bq/l)	0.1
Fluoruros (como F)	1.0	Radioactividad: Beta total (Bq/l)	1.0

Fuente. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. SEDUE. Diario Oficial del 13 de diciembre de 1989, México.

* Manual Técnico para el Uso, Manejo y Aprovechamiento de las Aguas Residuales en Riego Agrícola. C.N.A., Documento Interno. México 1990.

Los límites máximos de contaminantes en aguas residuales se muestran en el cuadro 6, publicado en 1991, según la nueva Norma Técnica Ecológica.

Cuadro 6. Límites máximos de contaminantes para las aguas residuales de origen urbano o municipal que se dispongan mediante riego agrícola.

PARAMETROS FISICOS Y QUIMICOS (mg/l)	NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES
POTENCIAL DE HIDROGENO (Unidades de pH)	6.5-8.5
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (mmhos/cm)	2,000.00
ALUMINIO	0.20
ANTOMONIO	0.10
ARSENICO	0.10
BORO	0.75
CADMIO	0.01
CIANURO	0.02
COBRE	0.20
CROMO	0.01
FIERRO	5.00
FLORUROS (Como Fluor)	1.00
MANGANESO	0.02
NIQUEL	0.05
PLOMO	0.50
SELENIO (como selenato)	0.02
ZINC	2.00

Fuente: Norma Técnica Ecológica.NTE-CCAM-004/91, SEDUE. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de Septiembre de 1991.

Tejeda González, Carlos (1990), señala como parámetros de control los siguientes:

I. Para que el agua tenga un mínimo de riesgo para la salud se recomienda :

a) Que su contenido de coliformes fecales no sea mayor de 1000 NMP/100 ml (10 3/1) y que no existan o se tenga un huevo viable de helminto.

b) Las concentraciones máximas permisibles para parámetros agronómicos son:

Salinidad; sólidos suspendidos < a 2000 ppm
Boro < de 2.5 ppm
Conductibilidad Eléctrica < de 3000 umhos/cm
Cloruros < a 250 ppm
Relación de Adsorción de Sodio, RAS < a 18 meq/l

c) Concentraciones máximas permisibles de sustancias tóxicas en agua donde se detectan descargas industriales son:

Máximos Permisibles (ppm) .
Plomo.....5.0
Cadmio.....0.05
Cromo hexavalente.....5.0
Arsénico.....5.0
Aluminio.....5.0
Mercurio.....0.005
Cianuro.....0.10

d) pH ácidos permiten la solubilidad de los metales pesados y su incorporación a la cadena alimenticia, se recomienda la utilización de suelos alcalinos.

e) Mantener lo máximo posible las concentraciones presentes en las aguas residuales de materia orgánica medida como (DBO) y de nutrientes (N,P,K) para que se incrementen o restablezcan condiciones de suelos orgánicos.

Estos puntos se deben considerar en la elección del sistema de tratamiento o manejo sanitario de las aguas residuales.

3.4 Ventajas y desventajas del reúso

Las ventajas del uso de aguas residuales son las siguientes:

- Liberación de volúmenes considerables de agua de primer uso o de mejor calidad.
- Se fomenta el desarrollo agropecuario.
- Son una fuente de abastecimiento de agua para riego con bajo costo y seguro durante todo el año.
- Es una forma económica de disponer las aguas residuales, para evitar problemas de contaminación en cuerpos de agua como son ríos, lagos, presas etc.
- Aumenta el valor de los cultivos haciéndolos pasar de temporal a riego.
- Se aprovechan efectivamente los nutrientes contenidos en las aguas residuales, como N-P-K, al igual que otros micronutrientes lo que disminuye la demanda de fertilizantes para la obtención de altos rendimientos.
- Se incorporan cantidades significativas de materia orgánica, lo cual modifica la estructura del suelo.
- Esta práctica de aprovechamiento de agua residual proporciona un tratamiento adicional, comparable a un nivel secundario, para el agua de infiltración que en muchos casos ayuda a la recarga de mantos subterráneos.
- Mejora el medio ambiente circundante de los núcleos urbanos por permitir la creación de zonas verdes y agrícolas permanentes.
- En suelos alcalinos, como los que se encuentran en las regiones áridas y semiáridas se presenta una capacidad de amortiguamiento de ellos hacia sustancias tóxicas.

Las desventajas del uso de aguas residuales son :

- Los compuestos tóxicos y organismos patógenos contenidos en las aguas residuales, pueden ocasionar contaminación de suelos y cultivos afectando la cadena trófica que incluye al hombre.
- Algunos compuestos como son los metales pesados, pueden estar presentes en las aguas residuales en concentraciones tóxicas para las plantas.
- Cuando las aguas residuales no se tratan convenientemente, pueden causar problemas a la salud pública.
- Puede existir el peligro de contaminación de acuíferos por infiltración de las aguas residuales.
- El contenido de sales de las aguas residuales ocasiona problemas en terrenos con mal drenaje, disminuyendo la calidad de los suelos y en consecuencia la productividad.
- Se incrementa la incidencia de plagas y enfermedades lo que incrementa el consumo de plaguicidas.
- El abastecimiento de aguas residuales es continuo durante todo el año, así como las láminas de riego son estacionales y la demanda depende del cultivo, lo que obliga a considerar un sistema de almacenamiento o la disposición de excedentes.
- Las aguas residuales con un alto contenido de sólidos en suspensión puede tapar los sistemas de riego por aspersión o presurizados.
- Existen riesgos a la salud del ganado que se alimenta de productos agrícolas regados con aguas residuales o que beben esa agua.
- El riego debe ser selectivo, por lo que está restringido a algunos cultivos los cuales deben ser tolerantes a sales, al boro, que no se consuman crudos o sirvan de forraje, así como las aguas residuales no deben tocar los frutos, debido a los organismos patógenos presentes que contienen.
- El aprovechamiento de las aguas residuales en el riego agrícola cola en distritos de riego provoca efectos nocivos para la salud pública, molestias por malos olores que son ofensivos y mosquitos.

3.5 Sistemas de Tratamiento

Los contaminantes de las aguas residuales pueden ser eliminados por medios físicos, químicos o biológicos. Los procesos biológicos pueden ser aerobios o anaerobios y se clasifican de acuerdo a la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos utilizados para el tratamiento. García, Zuñiga.

Entre las posibilidades tecnológicas para el tratamiento, se cuenta con:

Tratamiento Biológico

Tratamiento Químico

Tratamiento Físico.

El más utilizado es el tratamiento Biológico, con diferentes variantes como: Lodos Activados, Filtros Goteadores y Lagunas de Estabilización.

Lodos activados.

El proceso de lodos activados ha hecho progresar el tratamiento secundario del agua residual, se basa en procesos bioquímicos por contacto, en el que microorganismos aeróbicos, los compuestos orgánicos y elementos susceptibles a degradar se mezclan íntimamente en un ambiente favorable produciendo sustancias utilizables en el recurso agua. Por su alta eficiencia de remoción, alcanza de 90-98% de Demanda Bioquímica de Oxígeno, en igual cantidad para sólidos suspendidos y bacterias patógenas, (Vigeras, 1988).

En este proceso participan organismos aerobios facultativos, el agua residual se estabiliza en un reactor con aereación por medios de difusores o sistemas mecánicos; una vez que el agua ha sido tratada en el reactor la masa biológica resultante se separa del líquido, parte de los sólidos sedimentados son retornados al reactor y otra parte es eliminada para no saturar el sistema.

El objetivo que se persigue con el tratamiento biológico del agua residual, son la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables, reducir el contenido de materia orgánica y la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos.

Los lodos residuales desechados por la planta de tratamiento generalmente son eliminados en forma de pasta o de solución, que se depositan en el suelo, en tiraderos a cielo abierto o bien se descargan en los mismos cuerpos de agua donde se vierten las aguas tratadas, sin tomar medidas sanitarias para el control de los microorganismos patógenos y de los metales que contiene. Por su complejidad su operación y mantenimiento es muy costoso.

Filtros Rociadores

Son unidades de tratamiento que emplean cultivos microbiológicos adheridos a superficies rugosas, para llevar a cabo la llamada descomposición aeróbica por contacto con el material orgánico presente (Viguera, 1988), transformándolos en compuestos estables con eficiencias de remoción de DBO de 80-95% y sólidos suspendidos de 70-92% y de 90-95% de bacterias, suele también ser costoso.

Lagunas de Estabilización.

Existen diferentes tipos de lagunas de estabilización de aguas residuales (de aguas negras, de oxidación, redox, de maduración, facultativas, aeróbicas, anaeróbicas) a las cuales se les puede adicionar equipo mecánico. (Yañez, 1982).

Las lagunas de aguas negras se basan en una estructura sencilla para embalsamar el agua de poca profundidad (1-4 m) donde se da una autodepuración o estabilización natural en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológicos. Se utiliza este proceso en donde hay altos contenidos de materia orgánica biodegradable, el parámetro de mayor control es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Las lagunas que reciben agua residual cruda son lagunas primarias, las que reciben el efluente de una primaria se llaman secundaria y así sucesivamente.

El proceso de estabilización que se lleva a cabo en las lagunas facultativas es muy diferente al de anaeróbicas. Sin embargo, ambas son útiles y efectivas en la estabilización de las aguas residuales. La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo a través de organismos aeróbicos cuando hay oxígeno disuelto en el agua. Existen organismos capaces de adaptarse a ambos ambientes, los cuales reciben el nombre de facultativos.

El proceso aeróbico se caracteriza por que la descomposición se da en presencia de oxígeno, produciendo compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, las cuales a su vez producen más oxígeno que facilita la actividad de los organismos aeróbicos, presentándose así una simbiosis. El desdoblamiento de la materia orgánica se da por enzimas producidas por bacterias en sus procesos vitales (Saenz, 1985). En los procesos aeróbicos, la estabilización de las aguas residuales se logra mediante microorganismos aeróbicos y facultativos.

4 LOS METALES PESADOS

4.1 Características

Muchos de los metales son importantes en la nutrición de plantas y animales, en donde juegan un papel fundamental como micronutrientes, en el metabolismo de los tejidos y en el crecimiento. El problema radica en su acumulación progresiva en el ambiente y sus efectos a largo plazo.

Metal pesado se define como aquel elemento que se presenta en bajas concentraciones y que tiene un número atómico 22, aunque no todos son tóxicos (Federal Emergency Management Agency, 1987).

Agente tóxico es cualquier sustancia capaz de producir un efecto nocivo en un organismo vivo, desde el daño de sus funciones hasta la muerte y la toxicidad es la capacidad inherente del agente químico de producir ese efecto.

Metal esencial es aquel que se requiere para completar el ciclo de vida de los organismos y éstos producen síntomas de deficiencias, cuyo efecto es mostrado por una dosis-curva de respuesta.

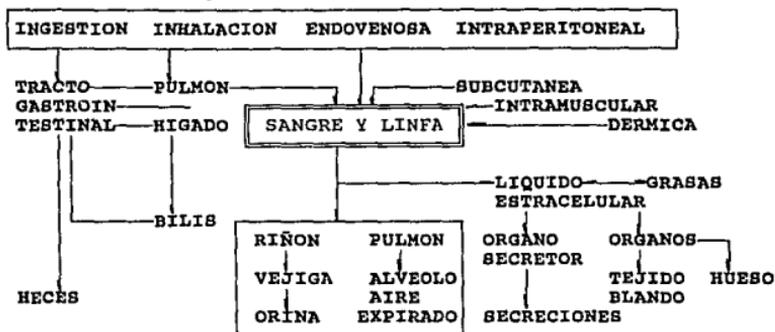
Metal traza es un metal establecido en bajas concentraciones, tal vez en partes por millón o menos, en alguna fuente, por ej. suelo, planta, tejido, agua etc. Este término se ha confundido con el bajo requerimiento nutricional por un organismo especificado Phipps (1976). Las relaciones entre elementos traza y calidad del ambiente están basadas en la necesidad de mantener y salvaguardar la salud del hombre. Están ligados a la salud debido a las funciones que cumplen en los procesos fisiológicos, cuando son de naturaleza catalítica, casi siempre serán metales pesados.

Este último término es usado ampliamente para incluir ciertos metales que no se consideran formalmente como metales pesados. Con su posición en las estructuras químicas más que fijados a su formación compleja, los metales pesados figuran en forma importante en varios tipos de reacciones de transferencia de electrones; los metales difieren de los alcalinotérreos y especialmente de los metales alcalinos, en que los últimos son móviles y participan en actividades más dinámicas tales como el funcionamiento muscular y la conducción nerviosa.

Se considera como metales pesados a los siguientes elementos: Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni), Cobalto (Co), Mercurio (Hg), Selenio (Se) y Arsénico (As). México en relación con otros países latinoamericanos ocupa el primer lugar en la producción de metales como el plomo de minería, refinación primaria y secundaria, arsénico, cadmio, mercurio. *Minerales Yearbook, U.S. Dep. of the Interior, Washington, 1984.*

En la figura 1 se aprecian las diferentes vías de absorción de metales, la distribución por el sistema circulatorio y eliminación de agentes tóxicos en el organismo humano.

Figura 1. Vía de absorción, distribución y eliminación de agentes tóxicos en el organismo humano. (CASARET, L.J.).



Varios metales se les ha considerado como catalizadores y son constituyentes de varias enzimas, se pueden reemplazar entre metales en ellas, pero tal reemplazo puede ser con diferentes grados de eficiencia llegando a producir un mal funcionamiento, debido a la inestabilidad estructural, que se observa en las enzimas si el metal reemplazante difiere dimensionalmente del reemplazo. Por lo tanto, tendrá que sintetizarse mayor cantidad de la enzima. Si el reemplazo se lleva a cabo en proporciones masivas o, en el peor de los casos, si resulta en una incapacidad bioquímica para llevar a cabo la función requerida, la salud del hombre se ve en peligro. Lagerwerff cita a Bowen, (1966) remarca que lo mismo ocurre cuando los metales pesados están presentes en concentraciones tales como para precipitar el PO_4^{3-} , o si catalizan la degradación de metabolitos esenciales o alteran la permeabilidad de las membranas celulares.

La cantidad de metales pesados en las aguas residuales dependerá de varios factores, pero principalmente de que si el residuo es de origen doméstico o industrial; en general los primeros llevan una concentración muy baja de metales pesados, si es que los contienen, y los segundos suelen contener elevadas concentraciones de uno u otro de estos elementos, dependiendo del tipo de industria de que se trate. Al aplicar aguas residuales principalmente de origen industrial la cantidad de metales pesados, se ve incrementada notablemente llegando a niveles tóxicos para las plantas, de acuerdo a los principios biológicos generales. La remoción de los metales pesados por las plantas, puede ser significativa y depende de la capacidad de remoción del cultivo y esta capacidad según la especie que se trate y la parte del vegetal donde se acumule.

4.1.1 Comportamiento en suelos.

Cuando los metales son incorporados al suelo, pueden ser tomados por los cultivos, lixiviados hasta llegar a los mantos acuíferos, o bien pueden quedar fijados fuertemente a la matriz del suelo. El camino que sigan dependerá del tipo de metal y de su estado químico, del pH, contenido de materia orgánica del suelo y de su capacidad de intercambio catiónico, entre otros factores.

El comportamiento de los metales también dependen de su asociación con otros compuestos y su estado químico, así tenemos por ejemplo que el cobre, níquel, zinc, cadmio, plomo y cobalto, se comportan en forma similar en los suelos. Con pH ácidos pueden estar como cationes divalentes y en los suelos neutros o alcalinos pueden combinarse con los iones hidroxilo o con otros metales, tal es el caso del arsénico que se combina con el fierro, aluminio, cobalto, magnesio y de esta forma queda retenido en el suelo; el cromo se reduce u oxida quedando en el suelo como un precipitado insoluble.

El pH del suelo juega un papel muy importante en el comportamiento de los metales pesados, generalmente a medida que el pH decrece se incrementa la solubilidad de los metales y consecuentemente, su concentración en la solución del suelo; cuando el pH aumenta, se reduce la solubilidad y se incrementa la adsorción de los metales en el suelo. Podríamos señalar que existe una capacidad de amortiguamiento de los suelos hacia los metales pesados inactivándolos o reduciendo su probable daño al reaccionar con otros metales, pero esa facultad se deteriora si se suministra mayor cantidad de metales de los que se puedan fijar por el suelo o absorber por las plantas.

En general los suelos no contienen cantidades significativas de metales pesados, en promedio se encuentran en mg/g de suelo como sigue:

Plomo (Pb)...10	Zinc (Zn)...5
Cadmio(Cd)...0.06	Níquel (Zn)...40
Cobre (Cu)...20	Cobalto(Co)...8

Las propiedades químicas de los metales pesados indican que su movilidad en los suelos es regida por el equilibrio entre el agua, los carbonatos, los silicatos y los fosfatos. Estos factores han controlado la deposición y disolución de los yacimientos naturales de los metales pesados. Otro proceso de importancia es la interacción de los cationes de los metales pesados con los aniones de la solución del suelo para formar iones complejos y quelatos con aniones orgánicos. Solo queda por considerar las reacciones de intercambio catiónico las cuales serían el último pero también importante factor que regula la disponibilidad de los cationes de los metales pesados en una solución del suelo.

Recientemente Bittel y Miller (1974) determinaron el coeficiente de selectividad de adsorción en arcillas entre calcio (Ca), Plomo (Pb) y Cadmio (Cd). Ellos encontraron que existe una diferencia notable para la adsorción de plomo, pero el cadmio y el calcio se adsorben con similar energía.

Lager Werff y Browen (1973) encontraron resultados similares con la excepción de notar un precipitado posiblemente de $Pb(OH)_2$ cuando reaccionaban Pb^{2+} y Ca^{2+} ó Pb^{2+} y Na^+ . El Cadmio nunca se les precipitó.

La importancia que tienen los fosfatos naturales del suelo como amortiguadores de los cationes de los metales pesados fue propuesto por primera vez por NRIAGU (1972, 1973 a 1974). Los datos termodinámicos de sus estudios indican que la Píromorfita $Pb_5(PO_4)_3OH$ puede ser un compuesto que se precipita con facilidad y por lo tanto un mecanismo natural para contrarrestar la contaminación de estos cationes tóxicos.

Cuando se agrega plomo o cadmio a un sistema suelo-agua se produce un equilibrio entre un múltiple de fases. Estas fases son la solución del suelo, las fases con capacidad de intercambio catiónico, los sólidos inorgánicos precipitados y la materia orgánica en solución.

Flores, G.A. y Cajuste, L.J. (1990) expusieron un estudio en el que afirman que al fraccionar las formas químicas de Pb y Cd en el suelo, se encuentra que el 70% del Pb y el 63% del Cd son fijados por el suelo, principalmente en forma de Carbonatos.

Tejeda González, Carlos (1991) comentó la experiencia del riego con aguas residuales en el valle del Mezquital, en el actual Distrito de Desarrollo Rural 063, en el estado de Hidalgo, que comprende los Distritos de Riego 03 y 100; señalando que en el primer distrito, se presentan problemas de contaminación microbiológica de productos regados con aguas residuales y que no se han identificado grandes problemas de contaminación en suelos por metales pesados debido principalmente, al contenido de materia orgánica del agua residual, el alto pH del suelo, las altas láminas utilizadas en el riego, que permiten lixiviación de los contaminantes solubles y las propiedades internas del suelo. En cuanto a láminas de riego altas se han bajado los niveles de salinidad y de 1 kg. de boro en las aguas residuales se encontraron 938 gr. en el agua de drenaje. Así mismo en relación a estos suelos, que cuentan con buena infiltración, permeabilidad moderada y drenaje interno bueno, se tiene gran capacidad para retener elementos nutrientes como el nitrógeno y fósforo, micronutrientes como el zinc, cobre y manganeso; éste tipo de suelos posiblemente inmovilice metales pesados suministrados por las aguas residuales, debido a la reacción alcalina que presentan, a la alta capacidad de intercambio catiónico y al contenido rico en materia orgánica (170 mg/l en promedio en el agua enriquecen el suelo en más de 3% de materia orgánica.

El mismo autor señala que entre las prácticas para mejorar las propiedades del suelo o amortiguar efectos negativos provocados por metales tóxicos destaca:

- El empleo de mejoradores químicos en agua o suelo (yeso, azufre, H_2SO_4 , calcita o cal).
- Mejorar la uniformidad de la pendiente o nivel del terreno
- Modificar el perfil del suelo para mejorar infiltración.
- Establecer un drenaje artificial si la capa freática constituye un problema.
- Arar la tierra en profundidad.
- Incrementar la carga orgánica.
(elimina algunos elementos traza tóxicos, como resultado de la degradación y mineralización).

Los criterios recomendados para manejo de suelos, al usar aguas residuales son :

- Se debe evitar que el pH del suelo caiga por debajo de 7.5 ya que esto pondría a disposición los metales pesados para los cultivos.
- Las zonas donde se recomienda usar aguas residuales deben ser áridas o semiáridas, y cálidas o semicálidas, que tengan suelos básicos.
- No regar con aguas crudas donde el manto freático sea menor de 2 m .

5 EFECTO DE LOS METALES PESADOS

5.1 Fuentes, distribución, absorción y efecto de metales en el ser humano

5.1.1 Plomo (Pb)

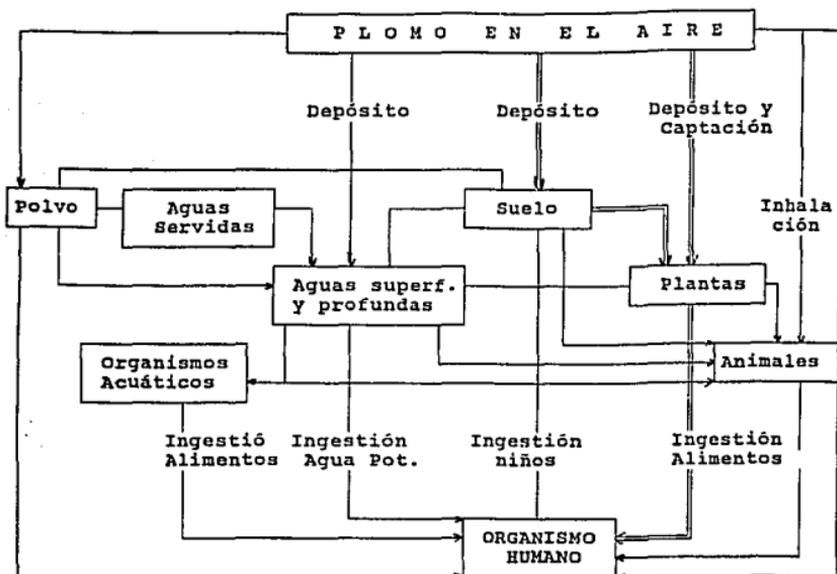
El plomo se introduce a los cuerpos naturales de agua vía atmosférica y a través de descargas domésticas. El ión libre y los carbonatos del plomo (II) así como el óxido y el sulfuro de plomo (IV) representan más del 90% de plomo disuelto. Como de menor importancia se puede mencionar al sulfato y el monocloruro de plomo (II). Su comportamiento químico se parece más a los metales divalentes perteneciente a las tierras alcalinas (grupo II A) que a los elementos de su propio grupo IV A de la tabla periódica. Sin embargo, el plomo difiere de los metales del grupo IIA en su poca solubilidad de las sales como son los hidróxidos, los sulfatos, los haluros y los fosfatos, M. Hansen, Anne (1991).

En México se producen 184 261 ton/plomo/año; las industrias y actividades más importantes productoras de plomo son: industrias de baterías, pigmentos para pinturas, alfarería, cables, productos químicos, antidetonantes para gasolina (tetraalquilos de plomo), construcción, productos de acero y tubería de plomo etc.. Los problemas ambientales y de salud asociados al plomo identificados y estudiados se refieren en su mayor parte a los compuestos inorgánicos del plomo y al plomo metálico.

Alrededor del 50% o más del plomo emitido al aire por fuentes antropogénicas, corresponde al proveniente de vehículos automotores (gasolina con aditivos de plomo). En los EU se ha calculado además que la contribución relativa del plomo del aire en los niveles de plomo sanguíneo en poblaciones expuestas en áreas industriales varía de 25 a 50 % .

La figura 2 muestra el mecanismo primario a través del cual se produce la extensa y variada contaminación antropogénica del ambiente, lo constituye la emisión hacia el aire del metal o sus compuestos, ruta por medio de la cual se logra una muy alta capacidad contaminante de prácticamente todos los componentes ambientales.

Figura 2. Importancia del plomo atmosférico en la contaminación global del ambiente y el aporte de plomo al organismo humano.



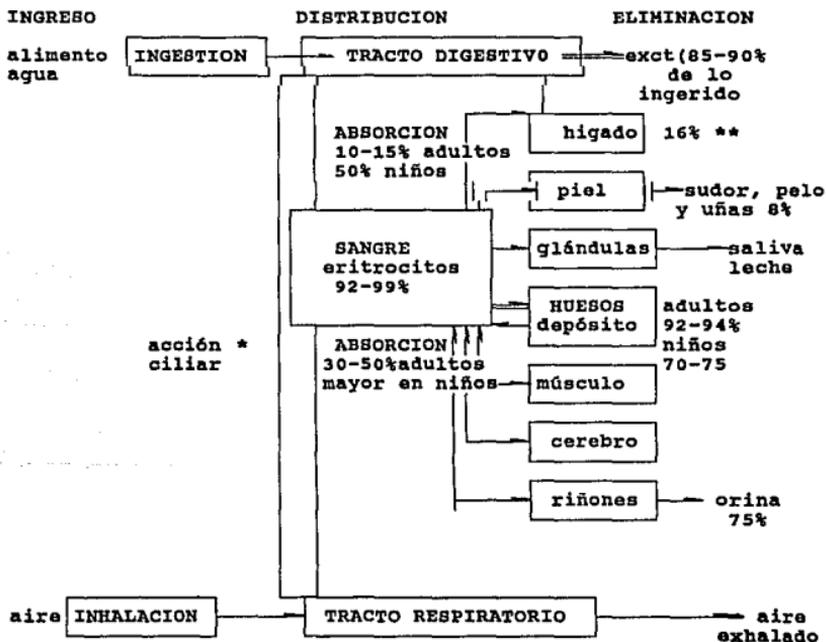
Fuente: Adaptado de Publicación Científica N.388 de OPS, Criterios de Salud Ambiental 3, Plomo.1979.

El plomo está presente en la dieta y en el ambiente humano (general y ocupacional). Se ingieren unos 200 a 300 microgramos diarios sin que ello cause daño conocido. En la sangre se han encontrado 10-15 microgramos por 100 ml. en poblaciones sanas. Las concentraciones sanguíneas aparecen más elevadas en hombres que en mujeres, en áreas urbanas que en rurales, por la mayor contaminación del ambiente urbano y también son más elevadas entre fumadores comparados con no fumadores.

Traspasa fácilmente la placenta y su concentración en la sangre del recién nacido es similar a la de la madre. También traspasa la barrera cerebral, pero el cerebro no acumula plomo de manera significativa.

En la figura 3 se aprecia la absorción del plomo por medio de la ingestión o inhalación, para su distribución a través del tracto digestivo y respiratorio; así como la acumulación en algunas partes del cuerpo, destaca la acumulación en huesos, cerebro y músculos.

Figura 3. Vías de absorción, distribución y eliminación del plomo en el organismo humano.



* Puede deglutirse hasta un 40% del plomo inhalado como partículas de diámetro mayor.

** Implica secreciones gastrointestinales, que incluye la bilis.

fuelle: Adaptado de Publicación Científica N.388 de OPS, Criterios de Salud Ambiental 3. plomo 1979.

Metabólicamente, el plomo y calcio se comportan de manera muy semejante, tanto en su deposición como en su movilización en los huesos. Como el plomo puede permanecer inmovilizado por años, los disturbios metabólicos no se detectan fácilmente. Bajo condiciones normales, más que 90% del plomo retenido en el cuerpo, se encuentra en el esqueleto. Aunque es un elemento no esencial, se presenta en todos los tejidos y órganos de los mamíferos. Afecta la permeabilidad de las membranas del riñón, hígado y las células cerebrales, resultando en la reducción del funcionamiento o en parálisis total.

Es un veneno acumulativo, cuya toxicidad se ha conocido por muchos siglos. Puede causar daños cerebrales, deficiencia mental y problemas de comportamiento. Su contenido en agua potable aumenta cuando se emplean tuberías de dicho metal, especialmente si el agua es "blanda", es decir, el contenido de calcio resulta bajo.

Este elemento químico es inhibidor de numerosas enzimas y esto constituye el fundamento de los diversos efectos tóxicos que se reflejan en la clínica y el laboratorio. El mecanismo tóxico del plomo esta dado por tres modalidades: uno es compitiendo con los metales esenciales (especialmente el calcio y el zinc) en sus sitios de inserción; otra es mediante su afinidad por los grupos sulfhidrilos (SH) de las proteínas, lo que significa alteración de la forma y de la función de ellas y dado que numerosas proteínas (entre ellas diversas enzimas), poseen grupos SH, las alteraciones fisiológicas pueden ser muy generalizadas en el organismo; finalmente, también actúa alterando el transporte de iones esenciales.

En el Sistema Nervioso Central (SNC), se forma un cuadro clínico denominado encefalopatía saturnina, cuyos síntomas y signos varían desde cambios psicológicos o conductuales sutiles hasta alteraciones neurológicas graves. Las características principales de la encefalopatía son embotamiento, desazón irritabilidad, vértigo, cefaleas, visión nublada, temblor muscular, alucinaciones, pérdida de la memoria y pérdida de la capacidad de concentración.

En los niños especialmente en los menores de 5 años, se ven característicamente deterioradas las habilidades adquiridas en el desarrollo psicomotor, tales como el control de esfínteres y la coordinación psicomotriz, los niños con encefalopatía plúmbica habitualmente quedan con secuelas. Las lesiones en el sistema nervioso central se producen en el nivel histológico y pueden tornarse irreversibles.

Factores de orden genético, nutricional, económico, social y familiar, interfieren en la correcta interpretación de los efectos psicológicos, conductuales y de aprendizaje en los niños, causados por concentraciones de plomo en sangre tan bajas como 10 microgramos/100 ml.

Uno de los primeros y más importantes efectos del plomo en el organismo humano es la alteración de la síntesis del grupo hemo (molécula hemo, que conforma la hemoglobina-eritrocitos). Clínicamente aparece una palidez acentuada, es característica la palidez facial (fascies saturnina), especialmente peribucal; las mujeres y los niños son más sensibles que los hombres a los efectos del plomo sobre la síntesis del hemo, de este modo, los eritrocitos constituyen el componente crítico de la acción tóxica del plomo y son uno de los que primero se afectan a las dosis tóxicas más bajas.

Estudios de la exposición de la población en general en México encontró 269 microgramos/l para 1981 (esto es 26microgramos/100 ml) y 195 microgramos/l para 1983 (19 microgramos/100 ml).

Antes de 1960, se creía que las concentraciones sanguíneas inferiores a 60 microgramos/100 ml no eran peligrosas. Sin embargo, el avance en los estudios ha motivado para que gradualmente se modifiquen los criterios de toxicidad.

Alrededor de 1978 el límite máximo permisible en la sangre se redujo a 40 microgramos/100 ml para adultos y 25 microgramos/100 ml en niños.

La exposición al plomo en agua potable es mínima, debido a que forma compuestos insolubles del tipo carbonatos y sulfatos, y por que el plomo es removido por las plantas convencionales de tratamiento de agua potable. El límite de 50 microgramos/l es el establecido por la OMS.

La cantidad de plomo ingerida a través de los alimentos varía mucho, según el tipo de producto. Las determinaciones en algunos países demostraron que el aporte de plomo puede ser de 1.5 mg/kg en condimentos, de 0.2 a 2.5 mg/kg en pescados y mariscos, de hasta 1.3 mg/kg en cereales y legumbres.

Si bien en general la mayor fuente del plomo ingerido son los alimentos, alrededor del 90% del plomo ingerido con ellos es eliminado por las heces; de este modo la importancia de la ingestión de plomo es significativa sólo cuando existe un muy alto índice de contaminación ambiental que repercuta en los alimentos.

El efecto del plomo en el hombre en su ambiente general es menos visible y se requiere altas cantidades para contaminar, mientras que en el ambiente laboral aún con concentraciones relativamente bajas alcanza efectos nocivos para la salud. En el ambiente ocupacional la vía de absorción más importante es la vía respiratoria. La vía de exposición más importante en la población es la digestiva.

5.1.2 Cadmio (Cd)

Entre las actividades industriales que aportan cadmio está la elaboración de pigmentos y plásticos. Las actividades industriales no relacionadas con la producción de cadmio también son importantes como lo producido por la combustión de carbón, aceite, madera, papel y basura orgánica, como responsables de la presencia general de este metal en los materiales biológicos. Se ha reportado una concentración de Cadmio en carbón de hasta 50 ppm (Roeder y Balassa, 1961).

La cantidad de cadmio liberada en la combustión puede contribuir en forma importante a la contaminación aérea. El papel contiene este elemento, como el carbón y el aceite, ya que a diferencia del Plomo, aquél entra fácilmente a las plantas.

Las fundiciones de zinc son particularmente peligrosas para el ambiente porque las emisiones contienen ZnO y CdO.

El cadmio puede llegar al aire como polvo resultante del uso continuado de las llantas de los carros. Aunque algunas marcas de gasolinas contienen trazas de cadmio, la mayoría no las presentan. Así el aumento en la concentración de cadmio en los suelos cercanos a carreteras muy transitadas, se debe fundamentalmente al desgaste de las llantas de los automóviles.

La principal vía de entrada de cadmio al ser humano es a través de alimentos y se manifiestan los daños después de muchos años de exposiciones continuas. Uno de los envenenamientos más difundidos fue el reportado en Fuchu, Japón a mitad de los 50s Tsuchiga(1978) citado por Page, Luna (1981); donde la exposición al Cadmio ocurrió a través de la ingestión de arroz crecido en campos irrigados por agua de un río que había sido contaminado por algunas corrientes procedentes de minas.

Descubrimientos recientes demuestran que el cadmio materno puede cruzar las membranas placentarias. En ausencia virtual de un mecanismo homeostático, el cadmio es rápidamente acumulado, a una tasa aproximadamente de 5 mg por década hasta la edad de 60 años, especialmente en los riñones. Aquí los aminoácidos con grupos -SH, como la cisteína, son instrumentos para ligar cadmio. La vida media biológica del cadmio en el hombre es estimada en 10 y 25 años. La dieta promedio diaria de Estados Unidos contiene de 23 (Schroeder y Balassa, 1961) a 92 ug de Cd (Murthy, Rhea y Peeler, 1971).

Una dieta basada en mariscos y granos puede causar una alta ingestión de cadmio diaria; los cigarrillos constituyen otra fuente; al ser ingerido es absorbido por la sangre en un rango cercano a 5% y es inhalado en un rango de 30%.

La investigación, principalmente con animales, indica que bajo ciertas circunstancias la potencia biológica del cadmio puede ser atenuada por administración de compuestos conteniendo grupos tiol, agentes secuestradores del tipo EDTA, zinc o selenio. Con la sal de calcio de EDTA la excreción de un número de metales en la orina, incluyendo cadmio, se incremento marcadamente. Dosis apropiadas pueden permitir una detoxificación rápida. El zinc puede competir efectivamente con el cadmio o el mercurio por algunos sitios enzimáticos. Especialmente los tres metales compiten por los grupos -SH y, por lo tanto a menudo forman complejos con los aminoácidos conteniendo grupos tiol como la cisteína.

Este es uno de los elementos que son acumulativos en la cadena alimenticia, se conoce que produce en algunos humanos una enfermedad llamada itai itai y recibe su nombre por los severos dolores causados por las fracturas de los huesos ablandados. Es evidente el daño que causa el cadmio a la salud por ello la Organización Mundial de la Salud (1972), propuso una tolerancia máxima ingerida de no mayor de 400 a 500 microgramos Cd/semana (Page 1975).

El cadmio puede reemplazar al zinc en ciertas enzimas causando enfermedades. La gran cantidad literatura sobre toxicología del cadmio, tal como la referida a la destrucción de eritrocitos, daño testicular y degradación renal, esta basada principalmente en observaciones del daño agudo inducido en animales o de la contaminación accidental por el hombre. La contaminación de bajos niveles de cadmio crónicos al hombre pueden resultar en alteraciones respiratorias como el eficema, alteraciones en el funcionamiento gástrico e intestinal, anemia, osteomalasia, o hipersensibilidad a enfermedades cardíacas.

Una alta correlación ha sido encontrada entre el consumo percapita de zin en 14 países y la muerte causada por hipertensión (Barrett y Fanke, (1970), una enfermedad a menudo asociada con el cadmio (Shroeder) en otros reportes, se ha establecido que tal vez la asociación más cercana de los metales con las enfermedades vasculares es el cadmio (Gunn, 1967).

5.1.3 Cromo (Cr)

El cromo puede presentarse en la forma iónica con valencia +2, +3, ó +6. De éstas, las más importantes en cuanto a sus efectos sobre la salud humana, son la trivalente (+3) y la hexavalente (+6). La forma trivalente es una forma esencial para el metabolismo humano, el cromo hexavalente es tóxico. La presencia de bajas concentraciones de cromo trivalente (óxido crómico o ión crómico), parece tener importancia para el metabolismo humano (elemento esencial), ya que éstos tendrían un papel en los factores de tolerancia a la glucosa.

Entre las fuentes de contaminación ocupacional tenemos que las actividades mineras pueden contaminar al extraer ese metal; la industria utiliza el cromo con el objeto de obtener protección por revestimiento de los metales, fines estéticos y decoración por el cambio de color de varios tipos de materiales; además, es un importante agente en los procesos de curtido de pieles. Las industrias que presentan más riesgo por la presencia de cromo son: cemento, colorantes, construcción, curtidurías, galvanoplastia, material fotográfico, material refractario, metalurgia (producción de acero y otras aleaciones metálicas), pinturas.

La contaminación de origen industrial por plantas de cemento, de asbesto y por los gases de combustión de vehículos motorizados, pueden elevar las concentraciones de cromo en el aire hasta valores peligrosos para la salud. En el agua, por su baja solubilidad los niveles naturales de cromo son bajos; en los ríos naturalmente hay de 0.1 a 5 microgramos por litro. Las actividades y efluentes industriales son los principales contaminantes de las aguas, llegando a elevar las concentraciones de cromo arriba de los 25 microgramos por litro. En el ambiente general se tiene que en el aire no contaminado la concentración es de 0.01-0.02 microgramo/m³. Los principales compuestos que tienen interés por su prevalencia en el ambiente son los trivalentes (óxido crómico y sulfato crómico) y los hexavalentes (trióxido crómico, ácido crómico y dicromatos de sodio, de potasio, etc.)

Los alimentos constituyen para el hombre una fuente ambiental de cromo natural importante. Aportes superiores proporcionados por otros medios como aire y agua habitualmente se deben a contaminación artificial, correspondiendo ello preferentemente a cromo hexavalente. Se estima que la ingestión diaria de cromo en condiciones normales puede variar de 5-500 ug, con un valor promedio diario de 100-300 ug. Cantidades adicionales pueden ser causadas por la contaminación antropogénica del ambiente en general.

Se han constatado concentraciones de hasta 390 ug de cromo por kg de tabaco, o también, de 1.4 ug por cigarrillo, sin que se hayan hecho evaluaciones sobre la proporción que este metal se absorbe por la vía respiratoria.

El cromo llega al organismo humano por la vía respiratoria; aproximadamente el 50% del cromo inhalado se absorbe. Los compuestos hexavalentes pasan más rápidamente al pulmón que los trivalentes, aunque luego en la sangre se biotransforman a trivalentes. Se ha demostrado que la absorción por vía digestiva es ineficaz, ya que no se alcanza a más del 6% de lo ingerido, no se ha demostrado absorción significativa a través de la piel.

Una vez incorporado al sistema sanguíneo se distribuye por varios órganos, principalmente al sistema retículo endotelial, hígado, bazo y huesos. En el organismo humano solamente se depositará cromo en forma trivalente. El cromo en la sangre es rápidamente removido hacia los tejidos, lo que hace que las mediciones de cromo en sangre no sean útiles como indicadores de exposición; la excreción se hace con rapidez, así mismo gran parte del cromo inhalado queda depositado en el pulmón, se ha descrito también el flujo placentario del cromo el cual puede encontrarse en el feto en altas concentraciones, sin embargo no existen evidencias de efectos adversos en él.

Las altas concentraciones de las formas trivalentes y hexavalentes de cromo en el ambiente, principalmente de trabajo, es dañina para la salud, ya que causan problemas de carácter local, tales como dermatitis irritativa, dermatitis alérgica, corrosión del tabique nasal y otros de carácter general, entre los que destacan el asma bronquial, el cáncer de pulmón y el daño renal. Diversos autores han estudiado la exposición al cromo en Alemania, Estados Unidos de América e Inglaterra y han encontrado una mayor incidencia de cáncer pulmonar en los trabajadores expuestos al metal que en la población en general, después de una exposición de entre 15 y 27 años. Confirmando estos estudios, la Internacional Agency for Research on Cancer (IARC) hizo una evaluación de los datos existentes y concluyó que los productos derivados del cromo causan cáncer; otros efectos, tales como la necrosis del tabique nasal y las lesiones alérgicas se han estudiado y se han encontrado fuertes asociaciones entre exposición y efecto.

5.1.4 Zinc (Zn)

El zinc es un metal relativamente suave y tiene una fuerte tendencia a reaccionar con compuestos inorgánicos, así como algunos orgánicos. El compuesto más usado en la industria es el óxido de zinc, el cual tiene una baja solubilidad en la mayoría de los solventes, otros compuestos también usados son el sulfato de zinc, cloruro de zinc, sulfato de amonio y zinc, y carbamatos de zinc.

Los principales usos del zinc son la producción de aleaciones no corrosivas, latón y en productos de hierro y acero galvanizado. El zinc se oxida sobre la superficie y protege al metal atrapado de la degradación. Tales productos aparecen ampliamente en automóviles e instrumentos del hogar, puede ser útil en la producción de acero, galvanización y productos de hierro; es útil en partes de automóviles. El zinc usado en hule y como un pigmento blanco acumula las mayores cantidades de compuestos de zinc. El sulfato de zinc se emplea terapéuticamente en medicina humana en el tratamiento de deficiencia de zinc. Los carbamatos, los cuales son compuestos orgánicos de zinc, se usan como pesticidas. Es de notarse que compuestos de zinc de alta pureza pueden contener significativas cantidades de más metales tóxicos, ej. cadmio y plomo.

La producción en el mundo de zinc se está incrementando, en rangos de cerca de 5% por año, cerca de 0.5 millones ton. en 1900 a 5.5 millones de toneladas en 1972. (Teworte, 1973). El total de emisiones de Zn a la atmósfera, durante actividades de esmalte en E.U. durante 1969 puede ser estimada en 50,000 ton. (Davis, 1979).

Se ha demostrado que el zinc es necesario para la función de varias enzimas de mamíferos. Se han identificado más de 20 metaloenzimas de zinc, es también un componente integral de la DNA polimerasa, una enzima necesaria para dividir la célula. La deficiencia de zinc hace decrecer la producción de ADN y ARN, lo que conlleva a una disminución de la síntesis de proteínas. El zinc interfiere también a nivel del sistema endocrino y en el metabolismo de lípidos y carbohidratos.

El zinc es esencial para los seres humanos. Los requerimientos diarios de zinc recomendados son 15 mg para los adultos y 25 mg para las madres en etapa de crianza. Hasted et.al. (1974), comenta que los niveles que llegan al hombre por día van de 5 a 22 mg. En general alimentos ricos en proteínas y organismos marinos, ostiones tienen concentraciones de 10-50 mg/Kg de peso húmedo. La leche humana contiene cerca de 3 mg/l (Schlettmen, 1970).

La absorción e ingestión de zinc es altamente variable, desde 10 a 90%, y es afectado por un gran número de factores. Altas concentraciones de zinc, son encontradas en prostata, hueso, musculo e higado. Las excreciones son principalmente a través del tracto gastrointestinal, el tiempo medio biológico de retención de zinc en humanos es del orden de un año. Mecanismos homeostáticos existen para la absorción y excreción de zinc.

Largas dosis de zinc, causan desordenes gastrointestinales, incluyendo vómitos y diarrea. La dosis alta emitida esta considerada como de 300 mg. El humo del metal causa fiebre, que es un desorden agudo, que se ve despues de exposiciones respiratorias, humos como ZnO. El síndrome no se ha observado en atmósferas controladas por debajo de 15 mg/m³. Exposiciones a altas concentraciones de ZnCl₂, puede ser fatal, creando daño agudo alas membranas mucosas de la nasofaringe y tracto respiratorio.

La fume fever metálica es un desorden agudo visto después de exposición respiratoria a humos de zinc generados recientemente (la mayoría como ZnO). El síndrome no se ha observado en atmósferas de trabajo con concentraciones de zinc abajo de 15 mg/m³.

La exposición a atmósferas con altas concentraciones de ZnCl₂ puede ser fatal, implicando agudo daño a las membranas mucosas del tracto respiratorio y nasofaríngeo. No se ha descrito envenenamiento crónico por zinc en humanos.

5.1.5 Fierro (Fe)

El fierro es el metal más abundante de la corteza terrestre, constituye el 5% de las incrustaciones de la tierra.

Deficiencias de fierro son observadas en mujeres en menopausia. La absorción e ingestión de fierro es ajustado por un mecanismo homeostático, la eliminación de este metal esta cerca de 0.01% al día. Los principales compuestos de fierro son Fe 2+ y Fe 3+ . La producción en el mundo en 1975 fué de 880 millones de tons. El fierro es utilizado en la producción de acero, productos de fierro y acero son usados en la construcción.

La concentración de fierro en agua es variable generalmente, en E.U. el agua fresca y de uso público anda en rangos de 0.01 a 1.0 mg/l, (Davies, 1971). La concentración promedio en ríos es de 0.67 mg/l (Bowen, 1966).

El fierro es esencial para el transporte de oxígeno, es necesario como componente de mioglobina, catalazas, citocromos y peroxidases, transportando oxígeno y energía requerida en las celulas. (Gubler, 1956); Underwood, 1977).

Los requerimientos diarios de fierro en humanos son de 10 mg en niños y adultos. (NAS, 1974).

5.2 Efecto de los metales pesados en cultivos

5.2.1 Plomo (Pb)

Entre los efectos del plomo se conoce que reduce el crecimiento de las raíces en concentraciones extremas e inhibe la proliferación celular; es un elemento acumulativo en la cadena alimenticia. Es absorbido en grandes cantidades por los cultivos, concentrándose en las membranas del núcleo durante la mitosis y reduce la división celular de los cultivos; también es altamente tóxico a muchas plantas de importancia económica y provoca severos impactos al ecosistema natural.

El plomo causa una adelantada senectud de la planta recién nacida (Lee, 1976). A concentraciones de plomo de 100 u gr/ml, la respiración en hojas se incrementó en un 22% .

Algunas investigaciones han establecido que varias formas de plomo producen lesiones cromosomales u otras perturbaciones (Ahlberg, 1972).

En otros efectos interactivos por plomo se ha sugerido la hipótesis de que el efecto tóxico no es directo sobre cualquier componente celular, es más bien indirecto por la destrucción continua de células, por carencia de fosfato, (Schulze y Brand, 1978).

El plomo también produce alteraciones en la actividad de muchas membranas mitocondriales y cloroplásticas, así como también altera ácidos nucleicos y los cromosomas, resultando en efectos tóxicos como reducción en la actividad de la fosfatasa y de la enzima ligada a la ATPasa, (Valle y Umer, 1972).

Efectos sobre cloroplastos aislados, han permitido observar que el plomo inhibe el transporte de electrones en la fotosíntesis, asociada con el fotosistema II, pero no tiene efecto sobre el transporte de electrones que van al fotosistema I

El plomo en cloroplastos aislados de maíz tiene dos efectos simultáneos:

- 1) Inhibición del P700 a nivel fotooxidación y
- 2) La alteración en la reducción cinética de P700, lo que trae como consecuencia una disminución en la velocidad de la fotofosforilación y por lo tanto en la producción de carbohidratos fotosintéticos (Wong y Grovendjee, 1976).

Algunos estudios con cultivos hidropónicos han demostrado una reducción significativa de su producción con el incremento de niveles de plomo. En otro estudio 100 u gr pb/gr de suelo no causó gran daño al cultivo de alfalfa, pero si se encontraron considerables incorporaciones de plomo en rábano, zanahoria y espinaca.

Koepe 1981 encontró mayor contenido almacenado de plomo en frutos y granos que en otras partes comestibles de las plantas; sin embargo otros autores señalan una mayor concentración en las raíces (Heversy).

Broyer (1972) observó una disminución en el peso seco de raíz y ápices de frijol (Phaseolus vulgaris), cebada y jitomate (Lycopersicum esculentum) tratadas con 50 u pb/l encontrando una mayor concentración en la raíz que en los ápices de la planta.

La Avena (Avena sativa) es una de las especies menos sensibles a niveles de plomo, al ser tratada con contenidos de 10 a -4M de $Pb(NO_3)_2$, mostró disminución del 34% en peso fresco, 23 % en peso seco y 26 % en contenido de clorofila, fuissell y Molinari (1973). También estudiando la sensibilidad al Plomo de diferentes especies comestibles, se concluyó de acuerdo a la siguiente secuencia decreciente: chile (Capsicum annum), betabel (Beta vulgaris), trigo (Triticum vulgare), avena (Avena sativa) y chicharo (Pisum sativum).

El frijol (Phaseolus vulgaris), después de 10 días de ser tratado con 10 -5M de $Pb Cl_2$, se redujo en peso y en longitud en todas las plantas en un 34%, en raíces el 70 %, y la superficie aérea de la hoja en un 26% y a más del doble a concentraciones de 10-3M de $Pb Cl_2$, (Merakchiska 1976, citado por Koepe 1977).

En arroz (Oriza sativa), las raíces en crecimiento fueron inhibidas por 2X10 -2M y la germinación por 10 -1M de acetato de plomo, (Mukherj y Mastra 1976). La utilización del acetato de plomo (6 X 10 -2M) en medio líquido afectó la germinación de arroz aproximadamente en un 50% disminuyendo la actividad de proteasa y alfa-amilasa en endospermos después de cuatro días (Mukherji y Mastra 1976, citado por Koepe 1977). Además la actividad del RNA fue reducida al 17% pero el DNA fue estimulado en un 12%.

Varios autores citados por Koepe (1981), reportan que donde se determinó la asimilación de CO₂ en fotosíntesis en plantas de soya (Glycine max), frijol soya, girasol (Helianthus annus), platan falso americano (Platanus accidentales L.), y maíz (Zea mays), tratados con varias concentraciones de plomo, por crecientes periodos de tiempo, se encontró que todas las especies manifiestan reducciones en la tasa fotosintética a concentraciones crecientes de plomo en suelos. En maíz cultivado en suelo areno-arcilloso tratado con cloruro de plomo, a concentraciones de 125-250 microgramo Pb/gr de peso seco de suelo, después de 20-30 días de tratamiento, las concentraciones de Boro, Manganeso, Cobre y Zinc en plantas, fueron reducidas en un 20-39%. (Walker, 1977).

En plantas de chicharo recién nacidas, tratadas con plomo, en medio nutritivo, fue inhibida la absorción de iones de Hierro, Manganeso y Zinc, (Kannan y Kepp, citado por Koepe 1977). Ellos consideran que la inhibición es de naturaleza física, al bloquear la entrada con ligamentos iónicos o con iones cargados.

5.2.2 cadmio (Cd)

El Cadmio está presente en aerosoles, como impurezas en los fertilizantes fosfatados y es un constituyente en fungicidas. Reduce la producción de algunas legumbres.

El metal es fácilmente absorbido a través de las raíces de plantas con importancia alimenticia, siendo usualmente los principales granos como el trigo, maíz, arroz, avena, mijo (Schroeder y Balassa, 1961). También el Cadmio puede estar presente en otro tipo de plantas, tales como chicharo, lechuga y remolacha (Schroeder y Balassa, 1963).

Casterlin (1982), señaló que los análisis de varias vultivos desarrolladas en laboratorios y en diferentes partes del mundo, cerca de minas y áreas industriales, han revelado que las plantas no excluyen la incorporación de metales pesados tóxicos especialmente cadmio, durante la absorción de metales esenciales.

La relación planta-suelo con cadmio, fue considerablemente más alta que para plomo, zinc o cobre, esto sugiere que la concentración del cadmio en plantas, es más alto que en su medio ambiente. Cutler y Rains (1974) sugirieron que uno de los mecanismos en la acumulación del cadmio, involucra una irreversible separación de cadmio a sitios de enlazamiento, probablemente en constituyentes de la célula. También señalan que la acumulación fue más grande en las raíces que en las yemas de las plantas (lo mismo sucedió con plomo). Esta acumulación en concentraciones altas se ha reportado en varias especies de plantas, como tóxicas (Huang, 1974, citado por Casterlain, 1982).

El mecanismo mediante el cual los metales pesados son distribuidos y retenidos en plantas no es enteramente entendido, en tanto la concentración de cadmio en el medio ambiente esta aumentando debido a muchos procesos industriales.

Cuando las plantas han sido desarrolladas en ambientes controlados el problema surge en qué fracción de cadmio acumulada por la planta viene del suelo y cuál proviene del aire, las contribuciones aéreas al contenido de Cd en las plantas se incrementaron con la disminución del área de tránsito, a pesar del incremento concurrente en el contenido de cadmio en suelo. También se observó que la relación de concentración Zn/Cd de las plantas fue considerablemente más baja que aquélla del suelo en la cual eran cultivadas. En combinación con los datos sobre la contaminación aérea antes mencionada, parece que el Cd se vuelve más concentrado que el Zn en la secuencia aire-suelo-planta, (Lagerweff).

La concentración de Cadmio en arroz ha sido por muchos años alrededor de 1 microgramo/gr y la dieta ingerida de cadmio debe estar alrededor de 300 u gr o más (Luna 1981). En la mayor parte de la población mundial los rangos son de 25-27 microgramos/día, (Friberg, 1974 citado por Page, 1977).

En cuanto a los efectos en cultivos Page, 1972 (citado por Mascareño, 1974), que al estudiar varios cultivos en solución, conteniendo de 0.1 a 10 ppm de cadmio, observó reducciones de un 50% en el rendimiento del frijol con niveles de 0.2 ppm en solución, así como en lechuga y maíz con 1 , en tomates y centeno con 5 ppm y 9 en calabaza, además comprobó que aumentaba el nivel de cadmio en las hojas conforme se incrementaba en solución.

5.2.3 Cromo (Cr)

Reduce la productividad, ocasiona deficiencias de fierro en algunos cultivos, clorosis y acumulación en hojas.

Koch, 1955 (citado por Mascareño, 1974) llevó a cabo análisis de elementos traça en pastura y paja de avena, encontrando menos de 0.1 y 0.2 ppm de cromo respectivamente. Hunter y Orella (1953) indicaron que los efectos tóxicos por cromo se asocian con un contenido reducido de nitrógeno en plantas de avena.

La presencia de cromo en los alimentos es muy variable, con rangos entre 20 y 600 ug/kg; presenta 20-50 ug/kg en las verduras, 20 ug/kg en las frutas, 40 ug/kg en los cereales.

Underwood, 1972 (citado por Mascareño, 1974) menciona que se han presentado varios reportes de un efecto estimulante del cromo sobre el crecimiento de los cultivos, así como de sus efectos tóxicos. Señala que excesivas cantidades de cromo en ciertos suelos causan enfermedades en las plantas. En tejidos vegetales normales encontró de 0.01 a 1.0 ppm pero el nivel medio caé entre 0.1 y 0.5 ppm. Se considera como límite en agua residual 5.00 mg/l según la norma mexicana.

5.2.4 Zinc

Considerando granos, vegetales y frutas, son bajos en zinc, generalmente menor de 5 ppm.

Las toxicidades de zinc en soluciones nutritivas pueden ser demostradas por un gran número de plantas. Hewitt (1948), señala que el zinc entre 16-32 mg/l, produce deficiencias de hierro en remolacha azucarera. Hunter y Vergnano (1953) comentan toxicidad para la avena en 25 mg/l.

Los niveles normales de zinc varían de 10 a 100 mg/Kg en la mayoría de los cultivos y plantas de pastura. El zinc se catalogó como esencial para el crecimiento de plantas superiores. Las concentraciones insuficientes de zinc son una deficiencia micronutricional común en los cultivos, de ahí que es común la adición de zinc a los fertilizantes, su deficiencia causa una clorosis, reducción en tamaño de hojas y hojas arrocetadas. La toxicidad por zinc en plantas se observa solamente en áreas donde hay fuentes de emisión.

5.2.5 Fierro.

Las principales funciones del fierro en las plantas son: Se les encuentra en todas las células vivas, principalmente en el cloroplasto de las hojas, necesarios para la formación de la clorofila, es importante en varios grupos de enzimas: fierro porfirín, deshidrogenasa del ácido málico, citocromos, enzimas respiratorias que intervienen en la reducción de nitratos, transportadores de oxígeno y receptores de hidrógeno en toda la planta.

Los granos y frutas son bajos en fierro, usualmente rangos desde, 1 a 20 mg/Fe/Kg (Documeta Geigy, 1970; Underwood, 1977). El preparar alimento reduce considerablemente los contenidos de este metal.

Las recomendaciones de Wolf, Benjamin (1985) en relación a los contenidos de fierro en plantas son: para frijol, maíz, arroz y cebolla con concentraciones bajas de 40-49, 26-49, 70-74 y 50- 59 ppm respectivamente; los niveles suficientes son de 50-300 en frijol, 50-350 en maíz, 75-200 en arroz y 60 a 300 ppm para cebolla; finalmente los niveles altos son considerados arriba de 300 para frijol, 350 en maíz, 200 para arroz y 300 ppm en cebolla.

R.L. Hausenbuiller (1973) considera para todas las plantas los siguientes niveles: de 10-80 ppm como concentraciones deficientes, 30-150 ppm como normales y los excesos los considera como no tóxicos.

5.3 Efecto de los metales en suelos

5.3.1 Plomo (Pb)

La abundancia terrestre de plomo, tiende a concentrarse en las series ácidas de rocas ígneas y sedimentos arcillosos, en concentraciones comunes de 10 a 40 ppm mientras que en rocas ultramáficas y sedimentos calcáreos los rangos son de 0.1 a 10 ppm.

El suelo es contaminado principalmente por depósitos de partículas de aire y por agua contaminada por actividades industriales.

La OPS señala niveles de 5 a 25 mg/kg de suelo, en áreas contaminadas se encuentran 8 mg/kg.

Debido a la contaminación del plomo es probable enriquecer los suelos con este metal, especialmente en la superficie del horizonte. La ocurrencia natural del plomo en el horizonte superficial de diferentes suelos de varios países muestra una media de 32 ppm.

La contaminación de suelos con plomo se considera un proceso irreversible y por lo tanto un proceso acumulativo en superficies de suelos aunque la entrada sea baja. Si en ciertas partes se continua usando plaguicidas con contenido de plomo (arseniato de plomo, por ejemplo), se debe considerar esta situación como un elemento adicional de contaminación de suelos, especialmente agrícolas.

El plomo es el menos móvil entre todos los metales por su relativa baja concentración en solución natural de suelos, se ha considerado que la lixiviación del metal puede suceder como complejos quelatados solubles en materia orgánica. La presencia del plomo en la parte superficial del suelo se debe a la acumulación de materia orgánica en esa zona, así como a las grandes concentraciones de plomo en las superficies de horizontes de suelos orgánicos no cultivados, (Fleming, citado por Aubert, 1980).

En Dinamarca, Hansen y Tjell, 1977 (citado por Aubert, 1980), estimaron un aumento de plomo anual en los suelos agrícolas de 3.7 % de la cantidad total.

La acumulación de plomo en superficies de suelos es de gran importancia ecológica, porque se conoce que este metal influye en la actividad biológica del suelo. Tyler, et al (citados por Aubert, 1980), mostraron que al aumentar los niveles de plomo en el suelo, es probable que limiten la actividad enzimática microbiótica y en consecuencia aumenta la acumulación de la descomposición incompleta de materia orgánica.

5.3.2 Cadmio (Cd)

La abundancia de cadmio en rocas sedimentarias e ígneas no excede a 0.3 ppm y éste metal al igual que el plomo está concentrado en depósitos arcillosos y pizarra (lutita). El cadmio esta firmemente asociado con el zinc en geoquímica, pero parece tener una mayor afinidad por el azufre que por el zinc y exhibe una mayor inestabilidad que el zinc en ambientes ácidos. Los contenidos promedio de cadmio en suelos van de 0.007-1.1 ppm; sin embargo, los niveles de este metal en suelos, no deben exceder de 0.5 ppm y todos los valores superiores reflejan un impacto antropogénico.

La solubilidad del cadmio esta en función del pH del suelo, a valores de 7.5, no es fácilmente movible, por consiguiente la solubilidad de Cd CO₃ y Cd (PO₄)₂, controlan su movilidad en suelos, pero la naturaleza de la superficie de absorción y las uniones orgánicas son también de importancia (Aubert, 1980); por lo cual, es más móvil en suelos ácidos (pH 4.5- 5.5) que en suelos alcalinos, siendo en estos últimos más bien inmóvil. Como ocurre con otros metales pesados, un incremento en el pH del suelo por alcalinización suprime en cierta forma la captación de Cadmio.

Se han realizado diversos estudios sobre la acumulación de cadmio en suelos agrícolas basándose en el aumento del pH y capacidad de intercambio catiónico y partiendo del supuesto de que en suelos cálizos la adsorción del cadmio aumenta, encontrándose que esto no era efectivo para todos los suelos y plantas. Esto apoyado por las siguientes observaciones:

Si la concentración en las aguas residuales es de 2.02 mg/l, asumiendo también una lámina de riego anual de 1.5 m , considerando que los límites acumulativos para E.U. es de 5, 10 y 20 kg/ha y para Inglaterra, de 5 Kg/ha, para llegar a estos límites en un suelo normal, recibiendo esta concentración de metal de aguas residuales y si el suelo tiene una C.I.C. de 15 meq/100 gr suelo, se requieren 67 años para ser un suelo contaminado pero solamente 17 años, si el suelo presenta una C.I.C. menor a 5 meq/100 gr de suelo; es decir, si un suelo es arenoso. Este valor coincide para ambos países, y más aún, para un suelo con un pH mayor de 6.5 . Sin embargo si el suelo tiene un pH menor de 6.5 aunque presente una C.I.C. de 15 meq/100 gr de suelo (suelo franco o franco arcilloso), también se requieren 17 años para ser contaminados; es decir, se acelera el proceso si el suelo es ácido. Esto es una observación valiosa porque en 17 años se pierde un suelo agrícola que estaba trabajando muy bien (Cajuste, 1988).

La capacidad de intercambio catiónico, en los términos en que es expresada en la cantidad de cationes intercambiables potencialmente disponibles para las plantas, puede estar relacionada con la captación de metales pesados. El intercambio de contacto entre la raíz y las superficies de arcillas promueve, más que impide, la entrada de metales dentro de las plantas a los niveles de concentración traza (Jeny, 1961). Cuando la estación de crecimiento se corta y el metal traza es captado con facilidad, la fase adsorbida más que la que se encuentra en solución puede ser la fuente principal de suplemento para las plantas.

El pH del suelo es importante debido, en conjunto, a las condiciones de oxidación-reducción en el suelo, la determinación del equilibrio de las formas más móviles de baja valencia y menos móviles de alta valencia de los iones de los metales pesados. En general el pH debería exceder el valor de 6.5 para minimizar los problemas de toxicidad potencial.

El balance delicado de Zn-Cd y Hg en relación a su competencia por Se y por grupos -SH de proteínas y enzimas en plantas y animales, es un aspecto que no debe ser olvidado en el manejo del estado de los elementos traza de los suelos.

La materia orgánica del suelo puede contener metales pesados así como quelar grandes fracciones de algunas especies de metales pesados que llegan a tener contacto con ella. Algunos de estos quelatos son solubles y pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas mientras que otros se descomponen en la vecindad inmediata. Donde los quelatos son insolubles, la quelación inhibe la captación de metales pesados por las plantas.

Las bacterias del suelo pueden influenciar la química del mismo en relación a ciertos metales pesados, incrementando como en el caso del Zn (Baber y Frankenburg, 1970), o disminuyendo como en el caso del Mn (Mulder y Gerretsen, 1952), su disponibilidad para las plantas.

Controlar la química del Cd en los suelos ofrece otra posibilidad para disminuir la entrada del metal en el ciclo de los alimentos. La alcalinización del suelo puede precipitar el metal no únicamente como carbonato, sino también como sulfato y fosfato, dependiendo de la abundancia de estos aniones. Más aún el efecto competitivo del Calcio, y las consecuencias fisiológicas y químicas de un incremento en el pH del suelo, pueden ser valiosos al disminuir la captación de Cadmio por las raíces de las plantas. Nuevamente, un arado limitado puede beneficiar las plantas de enraizado profundo, y el volteo del suelo superficial puede favorecer a las plantas de raíces superficiales.

5.3.3 Cromo (Cr)

El contenido de cromo en rocas sedimentarias y ácido ígneas es muy bajo y rangos de 5-120 ppm se tienen en sedimentos arcillosos.

Los suelos pueden tener concentraciones de hasta 250 mg/kg y en general las concentraciones medias de 125 mg/kg .

El comportamiento del cromo en el suelo ha sido estudiado por Bartlett, Kimble, James, Bloomfield (citados por Aubert, 1980) ellos demostraron que la mayor parte del cromo en el suelo ocurre como Cr+3 dentro de la estructura mineral o formas mixtas de óxidos de Cr+3 y Fe+3; Bassan (citado por Aubert) subraya que el comportamiento del cromo es gobernado por el pH del suelo y potencial redox. Este comportamiento puede ser modificado por complejos orgánicos de cromo y el efecto dominante de materia orgánica, estimula la reducción de Cr+6 a Cr+3 (cromo soluble a cromo insoluble), esta conversión es importante porque es responsable del bajo cromo disponible para las plantas .

El Cr+3 es ligeramente móvil en medios muy ácidos y a un pH de 5.5 es casi completamente precipitado, por lo que estos compuestos son considerados muy estables en suelos. Por otra parte, el Cr+6 es muy inestable y es fácilmente movilizado en suelos ácidos y alcalinos. La adsorción de Cr+6 disminuye al aumentar el pH y la adsorción de Cr+3 aumenta al elevar el pH.

El cromo es tóxico cuando se encuentra en estado hexavalente al acumularse en los suelos, sin embargo esta forma no es muy común.

Los suelos arenosos o histosoles son usualmente los más pobres en cromo y se calcula el contenido medio de 65 ppm en los suelos en general, Bassan (citado por Aubert, 1980) señala que después de 80 años de irrigación con aguas fecales, los suelos contienen 112 ppm de cromo y la contaminación del metal en ellos, aumentó de 43 a 113 ppm. Otros autores también reportaron una alta acumulación de cromo en horizontes superficiales de tierras agrícolas donde los rangos de más alto nivel son de 214 a 349 ppm.

Aplicaciones de caliza, fósforo, y materia orgánica se conocen como efectivos en la reducción de cromato tóxico en suelos contaminados. Después de la reducción, la caliza promueve la precipitación de compuestos de Cr+3 (Aubert,1980).

5.3.4 Zinc

La concentración promedio en la corteza terrestre se estimó en 40 mg/kg. En el suelo la concentración de zinc varía entre 10 y 300 mg/kg peso seco. Significativa contaminación de zinc, sólo se ve cerca de las fuentes que lo producen.

La toxicidad de zinc en suelos, se relaciona con el pH del suelo y limitados a suelos ácidos tienen efectos de toxicidad prolongada. En arenas ácidas, la cantidad requerida para toxicidad señala una concentración máxima de 1 mg/l para usos continuos.

Assumiendo adecuados usos para elevar el pH arriba de 6.0, las concentraciones máximas recomendadas, para usos continuos en todos los suelos es de 2.0 mg/l. Por un periodo de 20 años en suelos neutros y alcalinos, la recomendación máxima es de 10 mg/l, en suelos de textura fina calcárea y en suelos orgánicos, las concentraciones pueden exceder estos límites por un factor de 2-3 con baja probabilidad de toxicidad en 20 años.

La concentración de zinc en agua de mar es de 10 ug/l, se pueden alcanzar niveles de 2 mg/l en aguas que pasan por cañerías con contenidos de zinc. En promedio el contenido en la corteza terrestre es de 40 mg/kg. En el suelo la concentración varía de 10-300 mg/kg en peso seco.

5.3.5 Hierro.

El hierro es un microelemento del suelo necesario para las plantas, las fuentes naturales en el suelo son: Hematita (Fe_2O_3), Ilmenita ($TiO_2 \cdot Fe$), Magnetita (Fe_3O_4), Goetita ($FeOH$), óxidos de hierro deshidratado, micas, Silicatos del tipo 2:1 e hidróxido de hierro coloidal. El hierro es soluble en todos los suelos aireados, las deficiencias de este elemento se presenta en suelos alcalinos. En suelos la concentración de hierro varía entre 7 mg/g a 550 mg/g. (Bowen, 1966).

El hierro se presenta en los suelos en estado oxidado en forma de compuestos insolubles, cuando los suelos son inundados por las aguas, la descomposición de la materia orgánica, tiende a eliminar el oxígeno disuelto del agua que esta en contacto con el suelo y los compuestos de hierro son reducidos, dando origen a compuestos solubles.

Se recomienda una máxima concentración de 5 ppm en aguas para usos continuos en el riego de todos los suelos y una concentración máxima de 20 ppm en suelos de neutros a alcalinos para un periodo de 20 años, altas concentraciones de óxidos de hierro o hidróxidos incrementan la fijación de fósforo y molibdeno.

Los hidróxidos insolubles tienden acumularse en los suelos. Los hidróxidos de hierro y manganeso a pesar de que se acumulan en los suelos intemperizados en su estado oxidado, son más solubles en suelos inundados o suelos reducidos. Más solubles en suelos aeróbicos, su disponibilidad aumenta al aumentar la acidez del suelo.

6 MATERIALES Y METODOS

6.1 Estudios de contaminación del agua en Morelos

La pendiente presente en el estado de Morelos en dirección nortesur, a permitido un drenaje natural muy adecuado para deshacerse de desechos contaminantes; en la figura 4 se pueden observar las zonas de mayor contaminación por donde pasan diferentes barrancas y su área de influencia; destaca la zona objeto de estudio que corresponde al río Palo Escrito o barranca Puente Blanco, por ser una de las de mayor contaminación en el estado.

En cuanto a la contaminación de los cuerpos de agua, se tiene que la SRH en 1972, evaluó la calidad del agua de acuerdo a parámetros fisicoquímicos y biológicos, se incluyó a los ríos Amacuzac, Apatlaco, Yautepec y Cuautla; determinando la calidad de aguas residuales industriales y municipales descargadas en dichas corrientes y concluyó:

- En época de estiaje existen dos áreas con alto grado de contaminación, Tejalpa-Jiutepec-Emiliano Zapata y Zacatepec-Jojutla, en la primera la contaminación se debe a las descargas de aguas residuales de CIVAC y en la segunda del Ingenio Emiliano Zapata.
- Las aguas de la barranca Puente Blanco son aprovechadas para riego agrícola, lo cual disminuye entre un 20 a 30 % la producción agrícola y en un 50 % en el caso del arroz.
- El manantial las Fuentes o San Gaspar se encuentra contaminado por bacterias coliformes.

El estudio realizado por la misma Secretaría en 1973, determinó la calidad del agua del río Apatlaco, el manantial San Gaspar y el lago de Tequesquitengo, así como las descargas residuales de CIVAC, de Tenería, Morelos y del ingenio Emiliano Zapata, llegando a las siguientes conclusiones:

- El río Apatlaco entre Zacatepec y Jojutla hasta la unión con el Apatlaco se encuentra exento de oxígeno.
- Las aguas residuales de CIVAC, Tenería, Morelos y el Ingenio Emiliano Zapata, sobrepasan los límites máximos tolerables y si son tratadas adecuadamente, se pueden aprovechar como fuentes de abastecimiento industrial y uso agrícola o para descargarse en cuerpos de agua sin causar problemas de contaminación.

Otros problemas de calidad del agua en Morelos los presenta Tejeda, 1988:

- Problemas sanitarios causados por descargas de poblaciones, industrias y de retorno agrícolas a corrientes y cuerpos de agua.
- Deterioro de la calidad del agua para abastecimiento y afectación a la salud pública, causada por la contaminación de aguas subterráneas dada la infiltración de aguas residuales directamente o por fosas sépticas sin mantenimiento o aislamiento.
- Aprovechamiento de aguas de mala calidad en riego con riesgo de afectar la salud pública y la producción agrícola.

En relación a los problemas de calidad de aguas subterráneas, la principal problemática se observa en pozos, utilizados para el abastecimiento público en Cuernavaca, Morelos; donde se ha detectado la presencia de microorganismos patógenos, (principalmente bacterias entéricas, helmintos parásitos, protozoarios, patógenos oportunistas y esporas de hongos) que pueden causar daños a la salud pública.

En cuanto a la calidad en corrientes superficiales y cuerpos de agua, las principales descargas de poblaciones que tienen mayor impacto sobre el deterioro de la calidad del agua corresponden a las ciudades de Cuernavaca, Cuautla, Jojutla, Yautepec y Zacapotec, siendo las primeras en importancia en salud pública por los contenidos de microorganismos patógenos, materia orgánica y sólidos. Se considera un aporte diario de 26 Toneladas de materia orgánica medida en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y en contenido de coliformes fecales en el agua residual mayor a 1×10^3 NMP/100 ml que indica la presencia de un gran número de microorganismos patógenos.

Arturo Cruz (1988), señala dos áreas de alto riesgo para los acuíferos en el estado y tienen su origen no tanto en el uso doméstico, sino en el industrial: Tejalpa-Jiutepec-Tlahuapan y Zacatepec-Jojutla; que son las áreas de influencia en cuanto a la contaminación por las actividades de CIVAC y el Ingenio Emiliano Zapata, respectivamente.

En relación a la industria Tejeda (1988), señala que otro factor que marca el deterioro de la calidad del agua es la Zona Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC) y zonas aledañas en las inmediaciones de Jiutepec, que abarca cerca de 50 Industrias, de ellas 15 se pueden considerar como las de mayor aporte de contaminantes, y el Ingenio Emiliano Zapata en Zacatepec, la Tenería en Morelos, en Cuautla; que aportan principalmente sustancias tóxicas, materia orgánica, sólidos, grasas y aceites, siendo las primeras las de mayor importancia en la calidad del agua. Los principales cuerpos receptores de estas descargas son los ríos Apatlaco, Yautepec y Cuautla.

En 1990 el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), realizó un estudio de la calidad del agua de las diferentes corrientes que pasan por el estado de Morelos, al comparar los datos del río Palo Escrito con el resto de las corrientes, se observaron altos niveles de coliformes, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Amonio y escaso Oxígeno Disuelto (OD); lo cual refleja los problemas de contaminación de esta corriente, que riega el área de estudio.

Díaz Zavaleta (1988) en un informe sobre la evaluación del impacto de sustancias tóxicas, señaló la distribución de la contaminación industrial: la zona de Jiutepec-Emiliano Zapata-Zacatepec, recibe la descarga de agua tratada proveniente de la planta de tratamiento de ECCACIV (Empresa para el Control de la Contaminación de las Aguas de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca) a la altura del municipio de Emiliano Zapata a través de la barranca Puente Blanco o río Palo Escrito, el cual es afluente directo del río Palo Apatlaco a la altura del municipio de Xochitepec.

El municipio de Emiliano Zapata se encuentra afectado a la altura del poblado del mismo nombre por los desechos municipales de la barranca Puente Blanco que se originan por aguas de retorno agrícola, agua tratada de ECCACIV y agua de desecho doméstico de los municipios de Cuernavaca, Jiutepec y Emiliano Zapata. Concluye en relación a las empresas que descargan contaminantes que los tóxicos presentes se deben principalmente a la industria automovilística de Cuernavaca (IACSA, S.A.), cuyos desechos presentan plomo, cobre, zinc, cromo hexavalente, NISSAN MEXICANA, S.A. (ensamblaje de vehículos), SINTEX S.A. (productos farmacéuticos medicinales) que desechan plomo, cobre y zinc, los cuales son transportados a través del río Apatlaco. En el siguiente cuadro 7 se observa la presencia de sustancias tóxicas, fuentes, destino y área afectada.

Cuadro 7. Inventario de las sustancias tóxicas presentes en el estado de Morelos.

ORIGEN DE LA CONT.	TOXICOS	RIOS	MUNICIPIO	AREA
Industrial: agua de ECCACIV	Pb, Cu, Zn, Cr	Apatlaco	Jiutepec, E.Z.	142Km ²
Tenería, Morelos.	Pb, Cu, Zn, Cr	Cuautla	Cuautla	1.5Km ²
Doméstico: E. Zapata	Mn	Bca. Puente Blanco	E. Zapata	65Km ²

Fuente. Díaz Zavaleta, Guillermo. Informe final de la evaluación del impacto de las sustancias tóxicas en el recurso hidráulico. 1988

6.2 Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC)

En relación a la industria, el crecimiento esta directamente relacionado a la consolidación y crecimiento de CIVAC (Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca) localizado en el municipio de Jiutepec muy cerca de la principal ciudad: la de Cuernavaca. El gobierno en 1972, a través de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, buscó la integración de las unidades dispersas en ciudades industriales, ubicadas en las regiones que las necesitaran para incrementar su economía general, le disminuyeran costos y al mismo tiempo facilitarían el control práctico y eficiente de sus desechos; creándose así CIVAC, como estudio piloto de este tipo de instalaciones. Se inició con 20 industrias, las que aumentaron a 31 en 1975, llegando cinco años más tarde a las 63. Así en todo el estado para 1980 se tienen registrada 1,914 industrias.

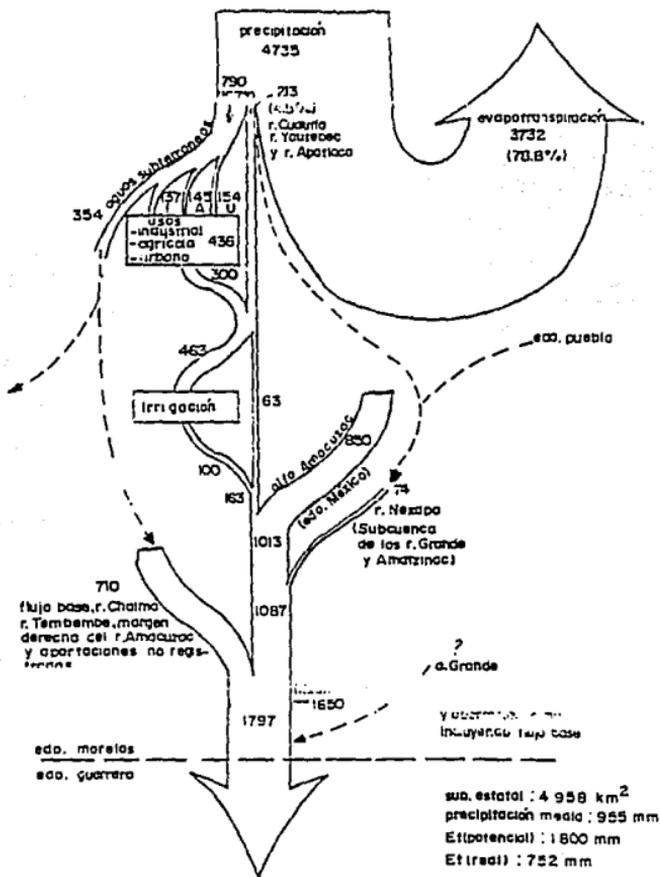
El balance hidrológico del estado se muestra en la figura 5, distribuyéndose 154 millones $m^3/año$ para las ciudades, 145 para el sector agrícola y para la industria 137 millones $m^3/año$, esto es, 4.3 m^3/s para este sector; las industrias de CIVAC demandan 32 millones de $m^3/año$ (1.0 m^3/s), que corresponde a la industria química, textil y la construcción principalmente; se estima que 19 millones de $m^3/año$ son descargados como agua residual, que corresponde a 0.60 m^3/s y 463 millones $m^3/año$ en todo el estado.

En la zona industrial se han asentado diversas actividades, principalmente manufacturera y de la construcción. La rama que más creció para 1980 fue la manufacturera, alimenticia, textil, metal-mecánica y química; contribuyendo el sector industrial con el 34.6% del PIB; de la construcción, con 304% alcanzando incluso más de la mitad del aporte al PIB.

La industria manufacturera posee una variación muy grande en cada uno de sus rubros, resaltando principalmente la industria alimenticia, textil y la metal-mecánica en cuanto al aporte global al PIB, mientras que en cuanto a la tasa de crecimiento en términos absolutos y reales sobrepasa la química y la textil con incrementos de 324 y 199 %, lo que puede dar una idea del probable impacto ambiental producido por el crecimiento de estas industrias.

Es importante destacar que tanto la tenería Morelos en Cuautla o los ingenios, tienen una participación muy modesta en el PIB estatal (0.64% y 3.09% respectivamente) a pesar de la relativa importancia en otros aspectos como la contaminación y empleo de población económicamente activa.

FIG. 5. Balance hidrológico en morelos (millones de m³/año)



La producción de caña de azúcar (el principal producto en la entidad) aumentó a un 38%, el ingreso obtenido de su industrialización en un 160% y el volumen de producción de maíz y frijol (los principales productos de autoconsumo) aumentaron en un 72 % y 40 % respectivamente; además en forma paralela el sorgo (producto pecuario) y las aves tuvieron un incremento notable 1760% y 512% respectivamente. En contraparte los otros dos rubros agropecuarios importantes como el arroz y ganado sufrieron importantes decrementos de 57% y 2% en el periodo de 1970-1980.

La infraestructura de abastecimiento de agua para la industria, esta representada por pozos para la extracción de aguas subterráneas, de cuya construcción, operación y mantenimiento, las mismas industrias se encargan, de hecho, siempre han sido autosuficientes en la materia; sin embargo, se registran algunas pequeñas industrias conectadas a las redes de distribución de agua potable, como es el caso de las de Cuernavaca, donde se reporta un volumen utilizado por la industria de 1.4 millones de m³/ año (equivalente a 44 l/s), que representa el 3% del suministro de agua potable para la ciudad. Los pozos particulares ascienden a 90, entre estos figuran los correspondientes a las industrias.

El "Manual de aprovechamiento de las aguas residuales en el riego agrícola" de la SARH (1984), nos permite definir las características propias de las diferentes aguas residuales según el tipo de industria para tener así un panorama de los desechos industriales:

Industria Química: sus principales constituyentes es alcalis y cloro, acidez y alcalinidad, cloruros y sulfatos, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, pH, sólidos, sólidos totales grasas, aceites, cloruros orgánicos, fósforo, metales pesados, fenoles, cianuro, nitrógeno.

Industria azucarera: Grasas y aceites, DBO, pH, sólidos solubles, sólidos totales, coliformes totales, alcalis, nitrógeno, turbiedad, turbiedad, detergentes, temperatura.

Industria del cemento, cal y yeso: Cromatos, pH, DQO, ss, sdt, temperatura, alcalinidad, fosfatos, zinc y sulfitos.

Curtidurías: Cromo, DQO, DBO, grasas y aceites, pH, sólidos solubles, sst, alcalinidad, color, dureza, nitrógeno, cloruro de sodio.

Industria textil: Cromo, DBO, DQO, pH, ss, sdt, fenoles, sulfuro, alcalinidad, Metales pesados, color, grasas y aceites.

Industria atomotriz y acabados metalicos: Plomo, cadmio, cromo, Grasas y aceites, ss, DBO, fósforo, sulfatos, sst, cianuro, Cobre, nitratos, estaño, amoniaco, estaño. **Industria del aluminio:** Cloro libre, fluoruros, fósforo, pH, Grasas y aceites, ss, std, fenoles y aluminio. **Acabados metalicos:** Grasas y aceites, DQO, Metales Pesados, ss, cianuro. **Industria del acero:** Grasas y aceites, cloruros, sulfatos, amoniaco, fenoles, ss, Hierro, Cromo y Zinc.

6.3 Planta de tratamiento (ECCACIV)

Como parte del manejo de la problemática, el Gobierno Federal ha venido realizando desde 1971, una serie de acciones encaminadas a la prevención y control de la contaminación de las aguas. Dentro de las acciones destaca el diseño, construcción y operación del primer distrito de control de la contaminación, formado por las aguas residuales industriales de CIVAC y las municipales provenientes de Tejalpa y Tlahuapan, Jiutepec y Emiliano Zapata, utilizadas para riego de terrenos agrícolas. Surge así la planta de tratamiento ECCACIV (Empresa para el Control de la Calidad del Agua de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca), con un tratamiento biológico por lodos activados y gasto inicial de 200 lps, esto es 0.2 m³/s .

El diagrama general de la planta de tratamiento se ve en la figura 6, destacando tres zonas de la infraestructura como es la zona de tratamiento primario, biológico y el de disposición de lodos. ECCACIV, es una planta de tratamiento con un sistema de lodos biológicos activados cuya función principal es remover la carga orgánica (expresada en Demanda Bioquímica de Oxígeno) de las aguas residuales, sin embargo durante el proceso también remueve elementos químicos. Al final del tratamiento, los lodos llegan a un digestor aeróbico y a un tanque de floculación donde se le adiciona un polímero para lograr su coagulación, finalmente pasan a un filtro-presa donde se elimina el exceso de agua, quedando una pasta con 75% de humedad, estos lodos son depositados en lechos de secado y posteriormente son trasladados fuera de la planta de tratamiento, para su depositación final en tiraderos a cielo abierto.

El influente de esta planta de tratamiento llega a través de tres colectores industriales que están diseñados para cubrir las industrias que pagan por el tratamiento de sus aguas y según la cantidad de tóxicos, en el cuadro siguiente se presentan las 63 industrias conectadas a ECCACIV.

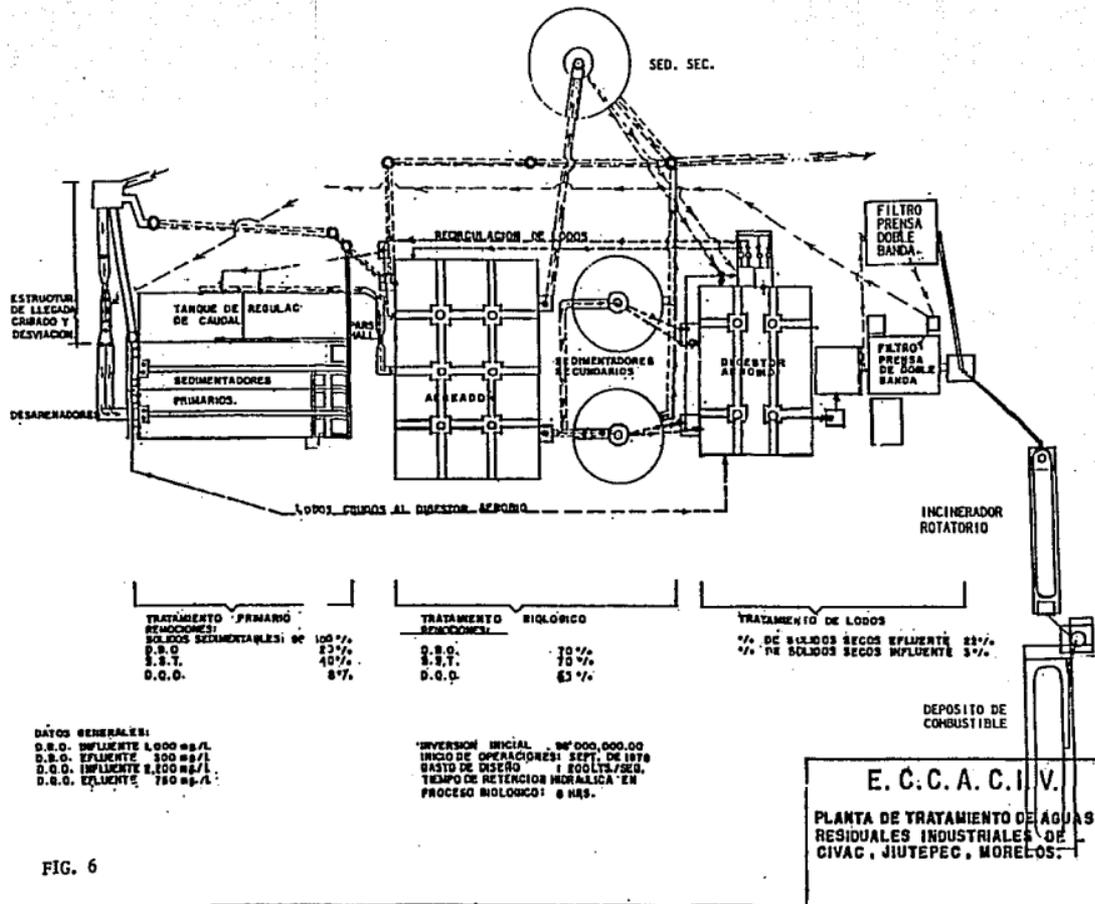


FIG. 6

De todas las empresas que vierten sus aguas a la planta de tratamiento de ECCACIV, son 5 las de mayor importancia y sobre las cuales se han hecho estudios de toxicidad, Díaz Zavaleta (1988) define que la industria Química Mexama contribuye con el 58% del volumen total del influente con 2 913,801 m³/año y su producción se enfoca a ácido cítrico. Los laboratorios Julian que aportan a la planta 114,939 m³/año, que representa el 2.3% del total del volumen aportado; ESQUIM se registra con 1.8%, esto es 89,199 m³/año que aporta el 95% de fenoles del total que llegan a la planta y parece que tal compuesto después de 50 mg/l causan efectos inhibitorios en los procesos de lodos activados, otro de los productos de esta empresa es el N-NH₃. Por lo antes señalado se concluye que llegan a la planta 5 023,794 m³/año, que representa 0.159 m³/s y el diseño de la planta de tratamiento es 0.2 m³/s. El total de las industrias conectadas a ECCACIV, se listan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Industrias en el primer distrito de control de la contaminación. ECCACIV (1988).

Química Mexama	Laboratorios Julian	Pon d de México
Esquim	Christianson	Syntax
Lab. lepetit	Textiles Sn. Andrés	Nissan Mexicana
Noriega y del blanco	Nobilis lees	Lab. Up-john
Cementos Moctezuma	Textile de Morelos	Cables Automotrices
Raffia	Polygal Mexicana	NEC de México
MEX Control	Electrocap	Manf.Gráfica Mex.
Tamacani	Hidramac	Telegab. de Mex.
Gpo.Ind.Colfocin	VECO	Dermamex
Lab.imperiales	ORSABE	Domenisis
Refrig. de Mor.	Selemex	KS de Morelos
Avios para telares	Cerámica C.	Erge
Hilados de Mor.	Herr. EXILITE	Ind.Parmec
Colorantes Unión	Plastovin	Dos osos
Pennwalt	Válvulas jet	Inv.Farmacéuticas
Travenol	Termo-hidráulica	MayeKawa de México
BAUAMEX	IUAQUIMEX	Alucaps Mexicana
Asinec	Nac.Algodonera	Acabadora de grasa
PAKSA	PEMEX	Rastro Municipal
Gpo.Ind.Interameric.	RASF Vitaminas	Gasolinera CIVAC
Centro dptivo.IMSS	Porcelana C.	Sistemas y compont.

Fuente: Informe final del proyecto Evaluación del impacto de las sustancias tóxicas en el recurso hidráulico. Bio.Guillermo Díaz Zavaleta, (1988).

La planta de tratamiento ha presentado algunas dificultades o restricciones, entre las que destacan:

- Las mezclas de aguas domésticas e industriales son diferentes a las características del diseño.
- Los contenidos tóxicos presentes en las aguas residuales reducen la eficiencia del tratamiento, por lo cual se han hecho algunas modificaciones a la planta para aumentar su eficiencia.
- Existe generación de lodos residuales que no están siendo adecuadamente tratados y por lo cual se ha puesto en marcha un programa para su aprovechamiento, principalmente para el cultivo de plantas de ornato.
- El hecho de que no exista una obligación o responsabilidad formal de cumplir con una cierta calidad de la descarga para el control de la contaminación o reuso de agua, implica no ejercer un control riguroso en la calidad del efluente.

En relación a las características satisfactorias de esta planta, Díaz Zavaleta (1988), concluye:

- Las pruebas realizadas mostraron que los efectos tóxicos encontrados siempre fueron menores a la salida de la planta. Se obtuvieron disminuciones de toxicidad hasta de 97 unidades tóxicas evidenciando la efectividad de la planta.
- Los datos de los análisis químicos realizados en ECCACIV, presentaron remociones promedio de DBO de 47%, de DQO de 36.5% y fenoles de 96.6%.
- La neutralización de los desechos de la Química Mexama (que aporta 58% del volumen) redujo su toxicidad en 26 unidades tóxicas, lo cual podría significar un mejoramiento sustancial al sistema de tratamiento.

Uno de los inconvenientes del sistema de tratamiento con lodos activados es qué hacer con los lodos, en la planta de ECCACIV se incineraban, actualmente se depositan en tiraderos señalados para ello y se pretende muy pronto volver a contar con la autorización para su incineración. Se está intentando ampliar la cantidad de módulos de tratamiento ampliando así el tiempo de retención del influente y que sea de esta manera, más eficiente el sistema; también se intenta separar agua pluvial y agua residual, para lo cual se ha creado un nuevo sistema de colectores tendiente a ser más eficiente el sistema.

Las características de estos lodos se muestran en los cuadros 9 y 10, que indican el contenido de las aguas residuales que pasan por dicha planta; destaca el dato de 78.32% de materia orgánica y una concentración de 2,797.2 ppm de metales disponibles, además de 4.6×10^6 NMP/100 ml de coliformes totales y 2.4×10^6 NMP/100 ml de coliformes fecales; la prueba para Salmonella sp y huevecillos de Ascaris lumbricoides resultaron positivos.

Cuadro 9. Análisis físico y químico de los lodos residuales de ECCACIV.

PARAMETRO	LODO	PARAMETRO	LODO
D. Aparente g/cc..	0.85	D. Real.....	2.29
% Porosidad.....	62.80	% Humedad.....	74.70
% Sólidos.....	25.30	pH (1:5).....	6.2
C.E. mmhos/cm....	4.69	%Materia Orgánica	78.32
% N total.....	5.74	% N Orgánico.....	5.64
CIC meq/100 gr...	51.12		
Metales intercambiables (meq/100 gr)			
Calcio.....	15.29	Magnesio.....	2.66
Sodio.....	5.45	Potasio.....	1.72
Iones Solubles (meq/l)			
Magnesio.....	0.24	Sodio.....	6.42
Potasio.....	0.43	Carbonatos.....	0.00
Metales Disponibles (ppm)			
Hierro.....	1745.00	Cadmio.....	0.00
Zinc.....	694.00	Cromo.....	0.00
Plomo.....	230.86	Cobalto.....	4.89
Manganeso.....	58.00	Níquel.....	28.50
Cobre.....	36.00		
Concentración total de Metales Disponibles...2797.25			

Fuente. Ortiz Hernández (1987), señala en relación a un estudio sobre los análisis de Lodos Residuales de la planta de ECCACIV:

Cuadro 10. Análisis microbiológico de los lodos residuales de ECCACIV.

PARAMETRO	LODO	PARAMETRO	LODO
Coliformes totales NMP/100 ml	4.6×10^6	Coliformes Fecales NMP/100 ml	2.4×10^6
Salmonella.....	positivo	Huevecillos de lumbricoides	positivo

Fuente. Valladares Franco, bajo el convenio IMTA-UAEM, se analizó los lodos de ECCACIV en su contenido microbiológico, 1987.

6.4 La Zona de Estudio.

6.4.1 Superficie irrigada y producción

La distribución de la superficie cultivada en el estado se clasifica de acuerdo a la disponibilidad de agua, las modalidades que existen son: 1 riego, 2 temporal, 3 temporal de riego, 4 Unidades de riego controladas y 5 Unidades de riego no controladas. Estas dos últimas se refieren al agua extraída de pozos.

Se cuenta con 185,799 ha de tierras que se dedican al cultivo, que equivalen al 38% de la superficie total; de las cuales el 73% (135,633.27 ha) es de temporal y el restante 27% (50,165.73 ha) de riego. Para 1991 se consideran 188,041 ha, con 131,916 de temporal y 56,124.6 de riego.

La superficie cosechada de granos básicos durante 1991, se distribuyó de la siguiente manera: maíz 42,675 ha; frijol 3,628; arroz 3,570 ha y trigo con 1,297. El maíz ocupa el primer lugar por ser el cultivo de autoconsumo más importante y su producción en zonas con riego.

En el ciclo otoño-invierno 1991-92 bajo riego, que contempla la modalidad 1 riego rodado, se tiene un total de 10,402 ha, de las cuales 3,643 ha corresponden a maíz y 531 ha para frijol. En el caso de hortalizas bajo riego en todo el estado, destaca para ese ciclo la cebolla con 1,985 ha; la calabacita 1,138; pepino con 783; tomate (verde) 578; frijol ejotero con 503, jicama 169; jitomate (tomate rojo) 94, sandía y melón con 68 y 17 ha respectivamente.

La agricultura es importante ya que absorbe cerca del 25% de la población en edad de trabajar, cantidad superada por el sector comercio y servicios que emplea al 53% de la población económicamente activa. Se ha observado una participación del sector agrícola en el producto interno bruto en 1970 del 20.6%, en 1980 del 11.3% y en 1987 del 11.0% .

La producción agrícola en los municipios de estudio esta representado para el cierre del ciclo primavera-verano 1991-1992 por los siguientes cultivos, destacando el maíz con casi el 80% de lo cultivado: en Jiutepec 124 ha y Emiliano Zapata 147 ha, le le siguió el cultivo del jitomate con 3 y 7 ha por cada municipio; 11 y 6 de calabaza, cebolla 4 y 3 ha por municipio y cebolla y sorgo forrajero con 7 y 3 ha en cada municipio respectivamente.

El total cultivado en ése ciclo fué de 156 ha para Jiutepec y 220 para Emiliano Zapata, lo que representa que 376, se dedicaron al cultivo bajo riego con granos y hortalizas.

6.4.2 Clasificación de suelos de la región

En la figura 7 se describe los tipos de suelos encontrados en el estado y en la zona de estudio, según la clasificación de suelos FAO-UNESCO (1970), adaptado a las condiciones de nuestro país por la Dirección General del Territorio Nacional (DETENAL), esta carta edafológica describe las unidades de suelos. Los suelos encontrados en el área de estudio son:

LITOSOL. (Del Griego Lithos; Piedra. Literalmente: Suelo de Piedra).

Son suelos que se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cm hasta la roca, tepetate o caliche duro. Se localizan en todas las sierras de México en mayor o menor proporción, en laderas, barrancas y malopaís, así como en lomeríos y algunos terrenos planos.

Tienen características muy variables, en función del material que lo forma. Pueden ser fértiles o infértiles, arenosos o arcillosos. Su susceptibilidad a erosionarse dependen de la zona en que se encuentran, de la topografía y del mismo tipo de suelo, y puede ser desde moderada hasta muy alta.

El uso de estos suelos depende de la vegetación que lo cubre. En bosques, y selvas se hace utilización forestal; en aquellos que presentan pastizales o matorrales se pueden llevar a cabo algún pastoreo más o menos limitado, y en algunos casos se utilizan con rendimientos variables para la agricultura, sobretodo de frutales, café y nopal. Este uso agrícola se halla limitado por la presencia suficiente de agua y por el peligro de erosión que siempre existe.

VERTISOL. (Del Latín Verto; Voltrear. Literalmente: Suelo que se revuelve, que se voltea).

Son suelos que se presentan en climas templados y cálidos, en zonas en las que hay una marcada estación seca y otra lluviosa. La vegetación natural de estos suelos va desde las selvas bajas hasta los pastizales y matorrales de los climas semisecos. Se caracterizan los vertisoles por las grietas anchas y profundas que aparecen en ellos en la época de sequía. Son suelos muy arcillosos, frecuentemente negros o grises en las zonas del centro y oriente de México; y cafés rojizos en el norte.

Son pegajosos cuando están húmedos y muy duros cuando secos. A veces son salinos. Su utilización agrícola es muy extensa, variada y productiva. Son casi siempre muy fértiles pero presentan ciertos problemas para su manejo ya que su dureza dificulta la labranza y presentan con frecuencia problemas de inundación y mal drenaje.

UNIDAD DE SUELOS

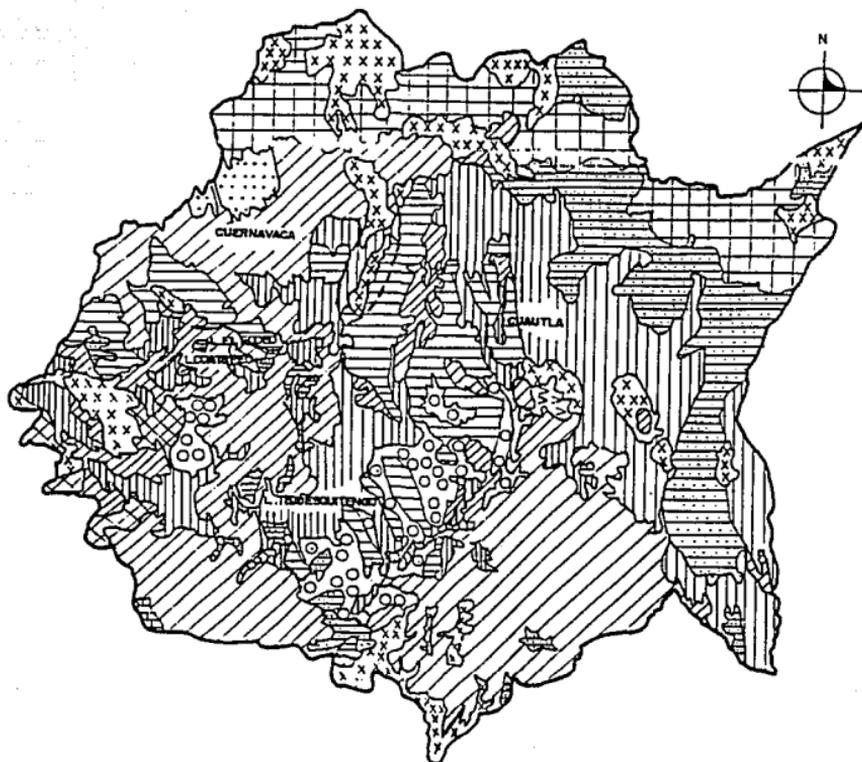


FIG. 7

 T (ANDOSOL)

 A (ACRISOL)

 B (CAMBISOL)

 X (CASTAÑOZEM)

 C (CHERNOZEM)

 H (FEOZEM)

 I (LITOSOL)

 L (LUVISOL)

 R (REGOSOL)

 E (RENDIZINA)

 V (VERTISOL)

 CUERPOS DE AGUA

Los vertisoles son los suelos donde se presenta la mayor cantidad de caña de azúcar mexicana, así como el arroz y el sorgo, todos ellos con buenos rendimientos.

En la zona central del país, además de los mencionados, se producen granos y hortalizas de riego y temporal, así como fresa y otros cultivos con rendimientos muy altos. En la costa del Golfo también son abundantes y se siembra en ellos la caña, maíz y cítricos. En la del Pacífico son frecuentes sobre todo en Sinaloa y Nayarit, donde además se siembra el jitomate y el chile. En el norte se usan en la agricultura de riego, básicamente de algodón y granos, con rendimientos buenos en todos los casos. Para la utilización pecuaria, cuando presentan pastizales, son también suelos muy adecuados, sobretodo en el norte y noreste del país. Son suelos de susceptibilidad baja a la erosión, en general.

REGOSOL. (Del Griego Rhegos; Manto, Cobiija. Connotativo de la capa material suelto que cubre a la roca).

Son suelos que se pueden encontrar en muy distintos climas y con diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por no presentar capas distintas. Son claros en general y se parecen bastante a la roca que tienen debajo, cuando no son profundos.

Se encuentran en las playas, dunas y en menor grado en las laderas de todas las sierras mexicanas, muchas veces acompañados de Litosoles y de roca o tepetateque aflora. Su fertilidad es variable y su uso agrícola está principalmente condicionado a su profundidad y a que no tengan mucha pedregosidad ya que muy frecuentemente son someros y pedregosos. En las regiones costeras se usan algunos Regosoles arenosos para cultivar cocoteros y sandía entre otros, con buenos rendimientos.

En Jalisco y en otros estados del centro, se cultivan principalmente granos con resultados moderados o bajos. El uso pecuario y forestal se lleva a cabo en las sierra con resultados variables, en función de la vegetación que exista. Son de susceptibilidad variable a la erosión.

Regosol calcárico, son ricos en cal y son los regosoles más fértiles; el Géllico con congelamiento en algunas partes del suelo, se presenta en los volcanes; Regosol Dístico son infértiles y ácidos; Eutríco presenta características de los anteriores, con fertilidad moderada a alta.

La zona estudiada cuenta con suelos Vertisoles en una gran proporción, que son suelos de primera calidad, lo cual indica el potencial agrícola que se tenía en el área y donde se cultivaban una gran cantidad de hortalizas y arroz, y que en este momento se utilizan en maíz, caña de azúcar y frijol, principalmente.

La descripción de suelos de la región fue dado a conocer por la Subdirección de Agrología en Cuernavaca, organismo de la Comisión Nacional del Agua, el estudio se denominó "Estudio Agrológico Detallado del Distrito de Riego No. 16 de Cuernavaca, Morelos." realizado en diciembre de 1983.

Los suelos predominantes en el área son aluviales; recientes, profundos (mayor 200 cm); color gris oscuro a café grisáceo oscuro en la superficie, café pálido y gris claro, en los estratos inferiores; texturas finas, el drenaje superficial es lento.

Los suelos subdominantes en el área son insitú-aluviales, recientes, delgados (20-40 cm.); color gris oscuro y café grisáceo oscuro; el drenaje superficial varía de lento a rápido.

Los siguientes suelos del área son aluviales, recientes, profundos (mayores de 200 cm); color café grisáceo oscuro y café en la superficie, café muy pálido a café amarillento claro en los estratos inferiores; texturas medias (franco, franco-arcilloso, franco-arcillo-arenoso y franco arenoso). El drenaje superficial moderado a rápido.

Los suelos que se presentan en menor proporción son aluviales, recientes, profundos (>200 cm.); color gris oscuro y café grisáceo oscuro en la superficie y café muy pálido en los estratos inferiores. Texturas finas (arcillas friables <60%) el drenaje superficial moderado.

Descripción de series y fases del suelo.

En el área de estudio, se identificaron 4 series. Las series se denominaron Morelos, Acamilpa, Yautepec y Chiconcuac.

- Serie Morelos. Ocupa 9,966.30 ha o sea el 29.31% del total estudiado. Son suelos aluviales, recientes, profundos (>200 cm) de color gris oscuro a café grisáceo oscuro en la superficie y café muy pálido a gris claro en los estratos inferiores. El relieve es plano, con pendientes menores al 1%.

La textura de los suelos es fina (arcillas pesadas >60%) en todo el perfil. El contenido de materia orgánica en el horizonte superior es de medio a bajo y el de fósforo aprovechable es de medio a bajo; la capacidad de intercambio catiónico es alta en el horizonte superior, el pH varía de ligeramente ácido a ligeramente alcalino. Presenta concreciones de carbonato de calcio en los horizontes C. El drenaje superficial, la velocidad de infiltración y la permeabilidad son lentos.

- Serie Acamilpa. Ocupa 7,834,20 ha o sea el 23.04% del total estudiado. Son suelos insitú-aluvial, recientes, delgados (20-40 cm); color gris oscuro a café grisáceo oscuro. El relieve varía de casi plano a ondulado con pendientes < 1% al 5% .

La textura de los suelos son de finas a medianas (arcillas, franco-arcilloso) en todo el perfil. El contenido de materia orgánica en el horizonte superior es de medio a bajo y el fósforo aprovechable es bajo; la capacidad de intercambio catiónico es de media a baja en el horizonte superior; el pH varía de moderadamente ácido a ligeramente alcalino. El drenaje superficial varía de lento a rápido, la velocidad de infiltración y permeabilidad varía de lento a moderado.

- Serie Yautepec. Ocupa 7,580.80 ha o sea 22.30% del total estudiado. Son suelos aluviales, recientes, profundos (>200 cm) color café en la superficie y café pálido en los estratos inferiores. El relieve es plano a ondulado con pendientes de .5% al 3%. La textura de los suelos son medias (franco, franco - arcilloso, franco-arcillo-arenoso y franco-arenoso) en todo el perfil. El contenido de materia orgánica en el horizonte superior es medio y el de fósforo aprovechable es de medio a bajo; la capacidad de intercambio catiónico es de media en el horizonte superior; el pH varía de ligeramente ácido a ligeramente alcalino. El drenaje superficial y la velocidad de infiltración varía de moderado a moderadamente rápido y la permeabilidad eficiente.

- Serie Chiconcuac. Ocupa 7,432.80 ha o sea el 21.86% del total estudiado. Son suelos aluviales, recientes, profundos (>200 cm) color café grisáceo oscuro a gris oscuro en la superficie y café muy pálido en los estratos inferiores.

Las texturas de los suelos son finas (arcillas friables <60%) en todo el perfil. El contenido de materia orgánica en el horizonte superior es de medio a bajo y el de fósforo aprovechable es de medio a bajo; la capacidad de intercambio catiónico es de medio a bajo en el horizonte superior; el pH varía de moderadamente ácido a ligeramente alcalino. El drenaje superficial, la velocidad de infiltración y la permeabilidad varían de moderado a lento.

Clasificación interpretativa de tierra con fines de riego:

En el estudio de suelos realizado por la misma Dependencia se intentó clasificar las tierras según su uso para riego, para ello se utilizó el sistema de clasificación de tierras con fines de riego (6 clases) del Bureau of Reclamation, Department of the Interior, USA; el cuál se adaptó a las condiciones predominantes esta área.

La clase de 1 a 4 están caracterizadas por un aumento progresivo en sus deficiencias y restricciones para el riego.

La clase 5 no es aprovechable bajo riego en condiciones actuales y requieren de estudios específicos para poder decidir si son aptos para la agricultura.

La clase 6 no es regable definitivamente y sólo puede ser utilizada para zonas urbanas, parques recreativos o como bancos de extracción de materiales.

En el cuadro siguiente esta la clasificación agrícola de tierras se apoya en el criterio, de la influencia de los factores físicos y económicos.

Cuadro 11. Parámetros de clasificación de tierras.

FACTOR	LIMITANTE	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4
	TEXTURA	C,Ca,Cr,C1	R(<60%)	R(>60%)	A
SUELO (S)	PERMIAB. ESPESOR	EFICIENTE 100	MODERADO 100-70	RAP/LENTO 70-40	MUY RAP/LE 40
TOPOGRA FIA(T)	RELIEVE PENDIENTE	PLANO/CASI 0.5-1	LIG.OND. 1-2	ONDULADO 2-3	- 3-5
	ENCH.SUP.	<2	2-4	4-6	>6
DRENAJE	DRENABILID.	X(BUENA)	Y(REST.)	Z(POBRE)	D(DEFICIENTE)

Nota: La combinación de dos o más factores altera los rangos de los límites, ejemplo: 2S+2T= 3ST

En el caso de suelo, las texturas pesadas con contenidos >60% dificulta la labranza y presenta problemas de permeabilidad. Y en espesor menos de 40 cm. crea problemas de retención de humedad y dificulta la penetración de la zona radicular.

En la topografía, la pendiente crea erosión y el relieve dificulta el manejo de laminas de riego, ambos nos dan un mal manejo del agua de riego, si no son corregidos. Para drenaje, el encharcamiento se presenta en suelos arcillosos principalmente. La drenabilidad por el movimiento del agua través del suelo dependiendo de las condiciones físicas, químicas e hidrodinámicas del suelo.

Uso, Mejoramiento, Manejo y conservación de tierras.

Clase 1.- Son las mejores tierras del Distrito de Riego, el manejo es el normal, es decir una buena preparación del terreno, siembra oportuna, aplicación de fertilizantes, riegos oportunos y control sistemático de malas hierbas, plagas y enfermedades. Los cultivos que se recomiendan son: Jitomate, tomate, pepino, cebolla, melón, sandía, frijol, calabacita, maíz y cacahuete.

Clase 2.- Son tierras de moderada aptitud para la agricultura de riego, pues presenta ligeras limitaciones de suelo (textura) y topografía (relieve). Se ve afectada por las siguientes subclases: 2S, 2T y 2ST. En 2S el problema es la textura y como es un factor inmodificable solo se recomienda barbechar, dar dos pasos de rastra e incorporar residuos de cosechas para mejorar la capa arable. En 2T el problema es topografía con el factor relieve que se puede corregir con nivelación. Y en 2ST el parámetro es suelo través de la textura, por lo que no se puede modificar pero si mejorar con practicas de preparación de suelo, y en topografía con su factor de pendiente no permite una modificación por que su horizonte A es superficial.

En estos suelos se recomienda trazar los surcos en sentido contrario a la pendiente para conservar y evitar perdidas de suelo. Se recomiendan los cultivos como caña de azúcar, arroz, maíz, jicama, frijol, tomate de cascara, jitomate y rosales.

Clase 3.- Presenta limitaciones de suelo (textura), topografía (relieve) y drenaje (drenabilidad), su adaptabilidad a los cultivos es más restringida y requiere prácticas más intensas de manejo del suelo a un mayor costo. Se encuentra afectada por las siguientes subclases: 3SD, 3ST, 3T. Para 3SD, el problema es la textura y la drenabilidad muy lenta; se recomienda trabajar el suelo cuando la humedad del suelo sea óptimo, evitando plásticidad y adherencia o dureza del suelo seco, se recomienda subsoleo cada tres años e incorporación de residuos vegetales. En 3ST no se recomienda ningún mejoramiento por ser textura y pendiente que evita su cambio y nivelación respectivamente. Lo mismo sucede con 3T. En los suelos de clase 3 se recomienda surcos en contorno para evitar perdida de suelo y obtener una buena distribución de agua de riego.

Clase 4.- Presenta limitaciones en el suelo (textura y profundidad del suelo) y topografía (relieve), presentan serias limitaciones para fines de riego, se puede usar para un solo cultivo seleccionado, los costos de mejoramiento son muy altos. Las subclases son 4S con el factor textura y espesor, que son factores inmodificables. Está la subclase 4ST, por problemas de espesor y relieve ondulado; se recomienda también surcos en contorno. Los cultivos recomendados son: caña de azúcar, cebolla, jicama, jitomate, tomate de cascara y arroz.

6.4.2 Zonas de Muestreo

El muestreo de aguas se realizó distribuyendo los 17 puntos de la siguiente manera: 7 en los colectores industriales que llevan el agua residual a la planta de tratamiento de ECCACIV y 10 en la barranca Puente Blanco o río Palo Escrito, donde desemboca el efluente de la planta de tratamiento.

Se utilizaron frascos de cristal de 1 litro, el método de muestreo se basó en una sola muestra (simple) en cada uno de los puntos, acidulando con ácido nítrico (1N) 2-3 ml para bajar el pH a <2 para que no hubiera reacciones y también fueron conservadas en una cámara de enfriamiento.

Los sitios de muestreo y las condiciones de acidez del agua se aprecian en el siguiente cuadro.

Cuadro 12. Sitios de muestreo de agua.

No.	NOMBRE	pH ENC.	FECHA	HOR
1	Tejalpa Gachupina	7.5	07/11/91	10:45
2	Cementería	7.0	07/11/91	12:05
3	Las Fuentes	9.0	07/11/91	12:30
4	Granjas Claudia	8.5	07/11/91	13:00
5	Colector General	6.0	07/11/91	12:45
6	Colector General	6.0	11/11/91	10:55
7	50 m antes de ECCACIV	6.0	07/11/91	02:15
8	200m ECCACIV-Tejalpa	7.5	11/11/91	16:45
9	Col. Esmeralda	7.0	07/11/91	02:20
10	Hda. Emiliano Zapata	8.0	07/11/91	02:45
11	Cerro del Vigilante	7.0	08/11/91	09:45
12	Campo el vigilante	7.5	11/11/91	13:30
13	E. Zapata-Tezoyuca	8.0	07/11/91	16:00
14	Tezoyuca-Acatlipa	7.5	07/11/91	15:10
15	Puente de tabla Xochi	7.0	11/11/91	15:05
16	Canal Atlacholalla	7.5	07/11/91	15:30
17	Campo Azezentla	8.0	11/11/91	12:05

Para el caso de las muestras de suelo se determinaron en la zona de estudio 10 áreas, tomando 32 muestras de 1 Kg a diferentes profundidades de cada uno de los pozos realizados, según lo permitiera la profundidad, colocandolas en bolsas de plástico y etiquetandolas. Los sitios se describen a continuación:

Cuadro 13. Zonas de muestreo de 10 pozos en la zona de estudio.

No.	POZO	L O C A L I D A D
1	700	SURESTE (SE) CALERA CHICA
2	701	NORESTE (NE) EMILIANO ZAPATA
3	704	SUROESTE (SW) EMILIANO ZAPATA
4	703	OESTE (W) CERRA DEL MIRADOR
5	702	SUR (S) EMILIANO ZAPATA
6	706	NORTE (N) TEZOYUCA
7	705	OESTE (W) TEZOYUCA
8	708	NOROESTE (NW) CHICONCUAC
9	707	OESTE (W) CHICONCUAC
10	709	SUR (S) CHICONCUAC

En el muestreo de plantas se colectaron en las parcelas en zig-zag, tomándose en promedio 5 plantas, de las cuales se cortaron raíces, tallos, hojas y fruto; haciendo mezclas compuestas de cada órgano y tomando submuestras, formando así 33 muestras de tejido vegetal. Fueron llevadas a la cámara de enfriamiento para su conservación. Los lugares seleccionados se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 14. Zonas de muestreo de plantas.

No.	SITIO DE MUESTREO		
1	Maíz muestra	raíz.	Campo El Guante, Jiutepec, Mor.
	Maíz "	tallo.	" "
	Maíz "	hoja.	" "
	Maíz "	fruto	" "
2	Maíz muestra	raíz.	Campo Vigilante, E. Zapata ECCACIV
	Maíz "	tallo.	" "
	Maíz "	hoja.	" "
	Maíz "	fruto.	" "
3	Maíz muestra	raíz.	Campo Palo Escrito, E. Zapata ECCACIV
	Maíz "	tallo	" "
	Maíz "	hoja	" "
	Maíz "	fruto	" "
4	Caña de azúcar muestra	raíz.	Campo Palo Escrito, E. Z.
	Caña de azúcar "	tallo.	" "
	Caña de azúcar "	hoja.	" "
5	Caña de azúcar muestra	raíz.	Puente de Tabla.
	Caña de azúcar "	tallo.	" "
	Caña de azúcar "	fruto.	" "
6	Arróz muestra	raíz.	Xochitepec, Mor., ECCACIV
	Arróz "	tallo.	" "
	Arróz "	hoja.	" "
	Arróz "	fruto.	" "
7	Frijol muestra	raíz.	Campo Palo Escrito, E. Z.
	Frijol "	tallo.	" "
	Frijol "	hojas.	" "
8	Cebolla muestra	raíz.	Tezoyuca, Mor.
	Cebolla "	tallo.	" "
	Cebolla "	hoja.	" "
9	Jícama muestra	raíz.	Atlacholoaya.
	Jícama "	raíz.	Atlacholoaya.

6.4.4 Metodologías

Para las determinaciones de agua se utilizó la metodología recomendada por US-EPA. Environmental Protection Agency, 1974 Methods for chemical analysis of water and wastes EPA-625-/6-74-003 Washington, D.C. (ver anexo 1).

Las muestras de tejidos se limpiaron y lavaron con HCl al 1% y agua destilada, secándose posteriormente a 65°C por 72 horas aproximadamente, se molieron en un molino de agata y fueron mineralizadas usando la mezcla (1:4) con H₂SO₄-HClO₄ (Wear y Evans, 1968).

Wear, J.I. and C.E. Evans. 1968. Relationship of zinc uptake by corn and sorghum to soil zinc measure by three extractions. Soil Sci Soc Am. Proc J. 32:543-546. (Anexo 2).

Todas las determinaciones de metales pesados en agua y plantas se determinaron con el Espectrofotómetro de Absorción Atómica marca Perkin- Elmer 373.

En los análisis de metales pesados en suelos, se utilizó las siguientes metodologías: en plomo, cadmio, zinc, colorimétrico (DITIZONA), en cromo difenilcarbazida en medio ácido (colorimétrico) y en hierro Ortofenantrolina.

Las fuentes son: - Standar Methods for the examination of water. ED APHA-AWWA-WPCF 1976.

- Methods for chemical analysis of water. USE PA. POBEBBA 625/74-003 1974

- Chemistry for sanitring engyneers. Sawyer y Mc. Carty, second edicition. Mc. Graw- Hill.

El aparato utilizados en las determinaciones de metales en suelos son el espectrofotometro. (Anexo 3).

7 ANALISIS DE RESULTADOS

AGUA: En el caso del agua se fijaron los sitios de muestreo del 1 al 8 tomados en los dos colectores industriales, que conducen agua residual de CIVAC a la planta de tratamiento de ECCACIV, del punto 8 al 16 se colectaron sobre la barranca Puente Blanco o río Palo Escrito. Los resultados de las concentraciones de metales totales en agua se presentan en la tabla siguiente:

DETERMINACIONES DE METALES PESADOS EN AGUA					
No.	Pb	Cd	Cr	Zn	Fe
1	0.059	tr	0.022	0.031	0.670
2	0.226	0.012	0.145	0.173	6.340
3	0.117	0.049	0.097	0.150	4.840
4	0.235	0.008	0.217	0.218	6.220
5	0.338	0.002	0.293	0.224	5.790
6	0.250	0.029	0.344	0.296	5.800
7	0.157	0.006	0.452	0.180	7.020
8	0.299	0.003	0.160	0.335	7.940
9	0.028	0.010	0.201	0.081	3.590
10	0.056	0.003	0.183	0.069	4.310
11	0.013	0.018	0.185	0.040	5.130
12	0.111	0.017	0.205	0.067	1.180
13	0.076	0.007	0.179	0.038	6.250
14	0.044	0.008	0.176	0.023	4.760
15	0.105	0.014	0.018	0.020	1.300
16	0.063	0.013	0.191	0.007	2.880
17	0.092	0.014	0.230	0.029	2.870

Cuadro 16. Límites máximos permisibles para agua.

(ppm)	Pb	Cd	Cr	Zn	Fe
1	5.0	0.05	5.0	2-10	5.0-20.0
2	5.0	0.005	5.0		
3	0.5	0.01	0.01	2.0	5.0
4	5.0	0.01	1.0	2.0	5.0

- 1 Quality Criteriyal Agua.177.
- 2 SARH. Manual de aprovechamiento de aguas. 1984.
- 3 Norma Técnica Ecológica. NTE-CCAM-004/91, SEDUE. Publicado en el Diario Oficial de la Federación. 24 de Sept. de 1991.
- 4 Criterios Ecológicos de Calidad de Agua. SEDUE. Diario Oficial del 13 de Dic. de 1989, México y * Manual Técnico para el uso, manejo y aprovechamiento de las aguas residuales en riego agrícola. CNA, documento interno, 1990.

Los datos de límites máximos permisibles señalados en la referencia 3 y 4, representan las normas más recientes que se aplican en México, las concentraciones recomendadas para plomo, zinc y fierro, son muy parecidas a las otras fuentes (excepto la Norma Técnica que señala 0.05 para plomo); al comparar las dos últimas referencias se muestra que las recomendaciones para cadmio, zinc y fierro son los mismos límites; la Norma es más estricta en relación al contenido en plomo y cromo que Criterios Ecológicos.

En el cuadro 17, se detallan las concentraciones de metales, encontrados en aguas residuales de la Cd. de México; el plomo presenta valores menores a 0.5 ppm lo que refleja que no rebazan la norma establecida en México; las concentraciones de cadmio encontradas por Acosta y García señalan que se rebazan los límites máximos permisibles; para el cromo todos los autores reportan que se rebazan los límites establecidos por la Norma Técnica Ecológica que es de 0.01 ppm y solo García señala concentraciones que superan 1 ppm, definida según Criterios Ecológicos. Cada uno de las concentraciones de los metales anteriores, son muy parecidos a los encontrados en la zona de estudio, pese a que en la metropoli existen una mayor diversidad y cantidad de industrias.

Cuadro 17. Contenido de metales en agua residuales de la ciudad de México.

metal/autor	1	2	3	4
Pb	tr	0.160	0.270	0.068
Cd	0.005	0.030	0.023	0.005
Cr	0.040	0.145	1.850	0.112

1_ Mascareño, 1974

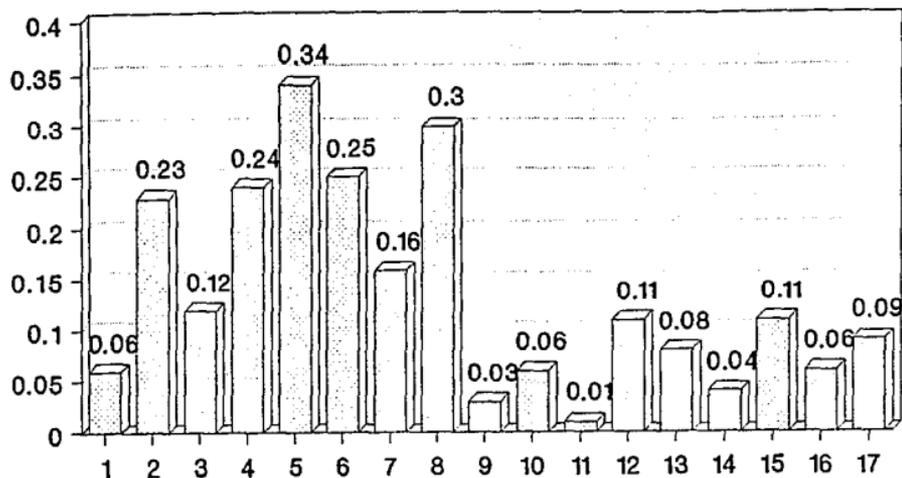
2_ Acosta Lara, 1980

3_ García, 1989

4_ Cajuste, 1990

En las láminas del 3 al 8 se presentan las concentraciones de plomo, cadmio, cromo, fierro y zinc en agua, así como el comportamiento de las concentraciones en la corriente y una comparación entre dichos metales.

CONCENTRACION DE PLOMO EN AGUA



SITIOS DE MUESTREO

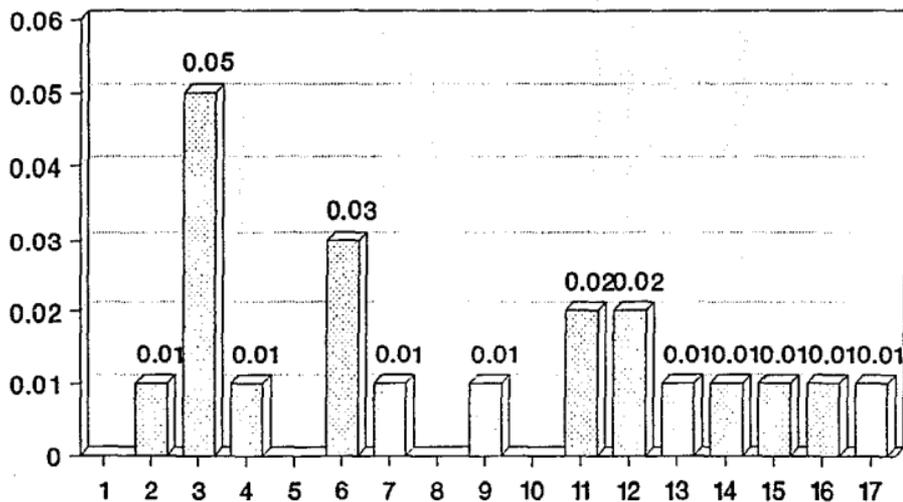
□ ppm

Del 1 al 7 antes de ECCACIV.

LAMINA 3.

0.5 Norma Téc.y 6.0 Criterios Ecológicos

CONCENTRACION DE CADMIO



SITIOS DE MUESTREO

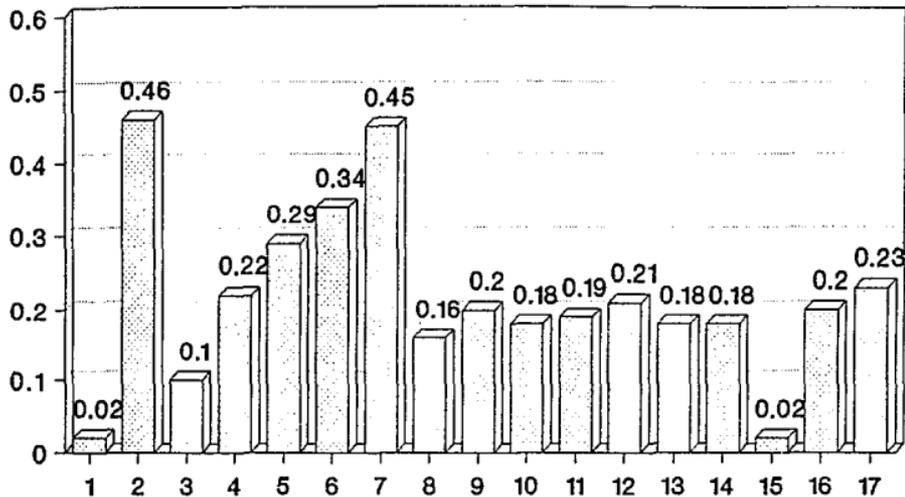
□ ppm

Del 1 al 7 antes de ECCACIV

LAMINA 4.

0.01 Norma Téc. y Críterios Ecológicos

CONCENTRACION DE CROMO EN AGUA



PUNTOS DE MUESTREO

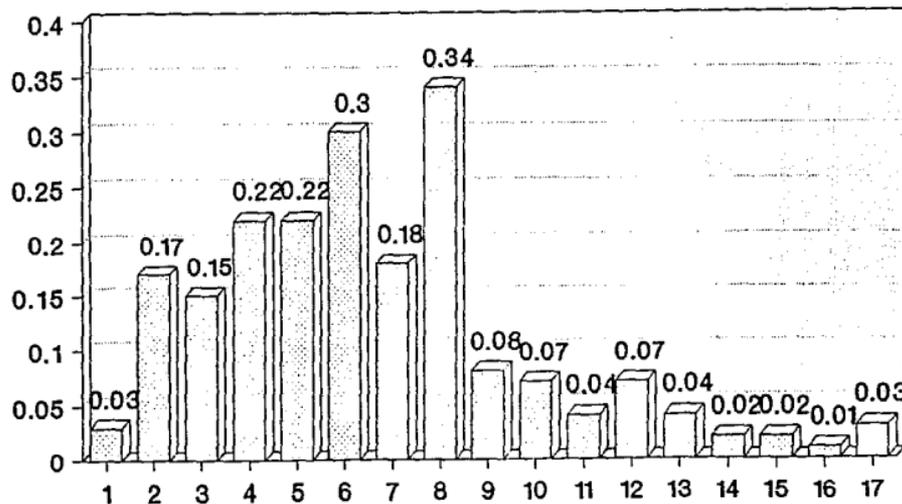
□ ppm

Del 1 al 7 antes de ECCAVIC

LAMINA 5.

0.01 Norma Téc.y 1 Criterios Ecológicos

CONCENTRACION DE ZINC EN AGUA



SITIOS DE MUESTREO

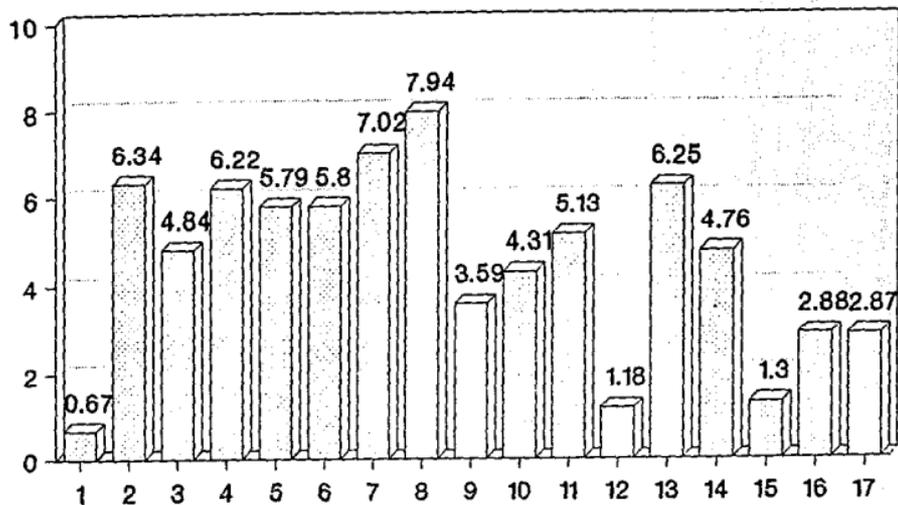
ppm

Del 1 al 7 antes de ECCACIV

LAMINA 6.

2.0 Norma Téc. y Criterios Ecológicos

CONCENTRACION DE FIERRO EN AGUA



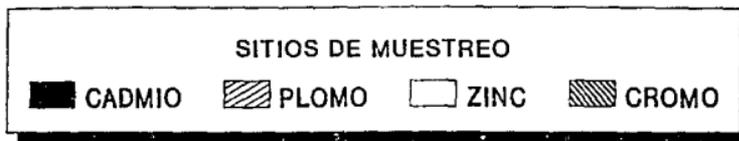
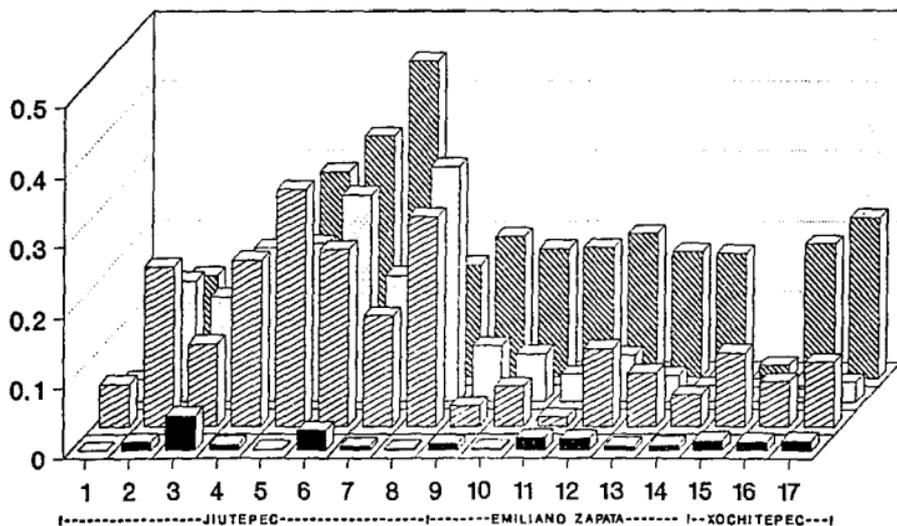
SITIOS DE MUESTRA

□ ppm

Del 1 al 7 antes de ECCACIV
LAMINA 7.

5.0 Norma Téc. y Criterios Ecológicos

CONCENTRACION DE METALES EN AGUA



Los límites máximos permisibles para el plomo estan en 5 ppm y 0.5 según Criterios Ecológicos y la Norma Técnica Ecológica respectivamente; al comparar estos datos con los mostrados en la lámina 3, se observa que aún con el criterio más bajo de 0.5 no se alcanza en ningún momento los límites permisibles en toda la corriente. La misma tendencia se presenta para el zinc ya que los límites fijados por los dos criterios antes señalados, esos y que son de 2.0 ppm, no se alcanza en ningún caso.

El contenido de cadmio recomendable fue de 0.01 ppm de acuerdo a la Norma Técnica y Criterios Ecológicos, la lámina 4 muestra que varias concentraciones llegaron a la norma; según otros criterios como el de Quality Criterial (1977) y SARH (1984) los límites son de 0.05 los cuales no se alcanzaron. En la lámina 5, la Norma Técnica recomienda para el cromo una concentración de 0.01 ppm, notándose que se rebazó esos límites siempre; los Criterios Ecológicos determina 1.0 ppm condición que no se alcanza sobre toda la corriente, Quality Criterial y SARH, SEDUE (1986) definen 5 ppm y 10 US. EPA (1973), límites tampoco fueron alcanzados. La concentración recomendada para el zinc, por la Norma y Criterios Ecológicos es de 2 ppm y no fueron alcanzados por ninguna concentración de la corriente, lámina 6.

Los límites máximos permisibles para fierro, según todos los criterios consultados es de 5 ppm, en la lámina 7 se aprecia que ocho muestras presentaron contenidos abajo de esta norma, rebazandola nueve sobretodo antes de la planta de tratamiento de ECCACIV.

La lámina 8 muestra el comportamiento de los metales en agua, que disminuyen su concentración después de la planta de tratamiento de ECCACIV, lo cual refleja la remoción de metales por el sistema de lodos activados.

La zona que presentó un mayor contenido de metales fue el municipio de Jiutepec, hasta llegar a la planta de ECCACIV; en Emiliano Zapata y Xochitepec la presencia de plomo, cadmio y cromo se mostró muy homogénea después del sistema de tratamiento y el zinc por su concentración superó al resto de los metales (sin incluir al fierro) en estos dos últimos municipios.

En relación a la presencia de metales, no hay que perder de vista sus característica (pese a encontrarse en bajas concentraciones en los cuerpos de agua) que son la de acumularse con el paso del tiempo en los sistemas y su presencia es un proceso irreversible en el medio ambiente.

SUELOS: Para el estudio de suelo se determinó 10 puntos de muestreo, 8 de los cuales no se distribuyeron en los municipios de Emiliano Zapata y Xochitepec, por presentar una gran superficie agrícola; los resultados de las determinaciones de metales pesados se muestran en la siguiente tabla:

Cuadro 18A. Determinación de metales pesados en suelos.

PROF.	POZO	M	Zn	Fa	Pb	Cd	Cr
0-35	700	1	8.50	4.50	1.85	0.25	2.18
35-75			6.55	3.20	0.00	0.35	1.43
75-125			4.05	1.05	1.38	0.00	0.83
125-150			4.60	1.25	0.11	0.00	0.00
0-60			12.61	6.50	1.85	0.47	3.07
0-30	701	2	7.25	6.30	2.08	1.10	3.48
30-50			6.30	5.60	0.00	0.80	2.19
50-75			5.28	0.00	1.61	0.40	2.94
75-130			5.02	0.00	0.11	0.30	2.13
0-60			15.66	11.90	2.72	2.06	6.85
0-30	704	3	7.63	5.42	0.00	0.65	3.26
30-74			6.71	4.17	0.52	0.00	1.09
0-60			12.21	8.26	0.52	0.65	4.00
0-30	703	4	8.63	3.60	1.44	0.60	2.87
30-50			6.71	2.20	0.00	0.00	0.72
50-100			5.71	1.30	1.32	0.00	0.00
0-60			16.48	0.06	1.70	0.60	3.60

Cuadro 18 B. Determinación de metales pesados en suelos.

PROF.	POZO	M	Zn	Fe	Pb	Cd	Cr
0-30	702	5	9.25	5.30	3.18	0.00	0.85
3-50			7.28	3.50	1.04	0.20	2.46
50-80			5.75	1.00	0.92	0.00	1.50
80-150			1.91	0.00	0.00	0.85	2.42
0-60			18.45	9.13	4.53	0.20	3.81
0-35	706	6	7.67	4.95	0.17	1.96	8.35
35-75			5.75	2.38	3.46	0.00	0.36
75-115			5.75	1.00	0.00	0.98	2.55
115-150			4.79	0.00	3.18	0.00	2.92
0-60			11.26	6.43	2.33	1.96	8.58
0-20	705	7	9.59	5.27	0.00	0.33	3.63
20-59			10.54	4.27	1.04	0.98	3.79
0-60			20.40	9.65	1.07	1.34	7.51
0-17	708	8	8.63	7.91	0.00	0.55	2.18
17-65			7.67	3.27	0.00	0.45	2.18
0-60			15.50	10.84	0.00	0.95	4.13
0-25	707	9	8.63	5.63	0.34	0.65	2.18
25-60			9.59	3.63	2.02	0.00	0.00
60-120			7.67	1.59	0.92	0.00	0.00
120-150			6.71	1.65	0.00	0.00	1.82
0-60			18.22	9.26	2.36	0.65	2.18
0-25	709	10	11.50	5.00	0.00	0.00	1.09
25-55			7.63	2.00	1.56	0.00	0.00
55-75			1.91	1.90	0.57	1.80	2.05
0-60			19.61	7.48	1.70	0.45	1.60

En los suelos de la región se analizaron algunos parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos relacionados con los metales pesados o bien que indiquen las condiciones del suelo.

Los suelos en general son profundos, arcillosos, con CIC mayor al 40%, humedad aprovechable del 45%, materia orgánica mayor al 6%, pH neutros a ligeramente alcalinos; estas características reflejan el potencial agrícola de los suelos.

En el cuadro 19, se describen algunas recomendaciones dadas por diferentes autores, así como concentraciones de metales pesados encontradas en suelos irrigados con agua residual en el valle del Mezquital y en Texcoco:

Cuadro 19. Recomendaciones y estudios de metales pesados en suelos.

METAL	(ppm)	Fuente.	Min	Max	Fuente
Pb	5-25	1	tr	0.76	3
Cd	0.05	1	tr	0.50	3
Cr	65.0	1	tr	0.17	3
Fe	0.007-0.550	2	1-5%		4
Zn	10.0 - 300	2	10-30		4

1_ OPS, 1991

2_ Friberg y Nordber, 1979.

3_ Garcia, Zuñiga, 1989

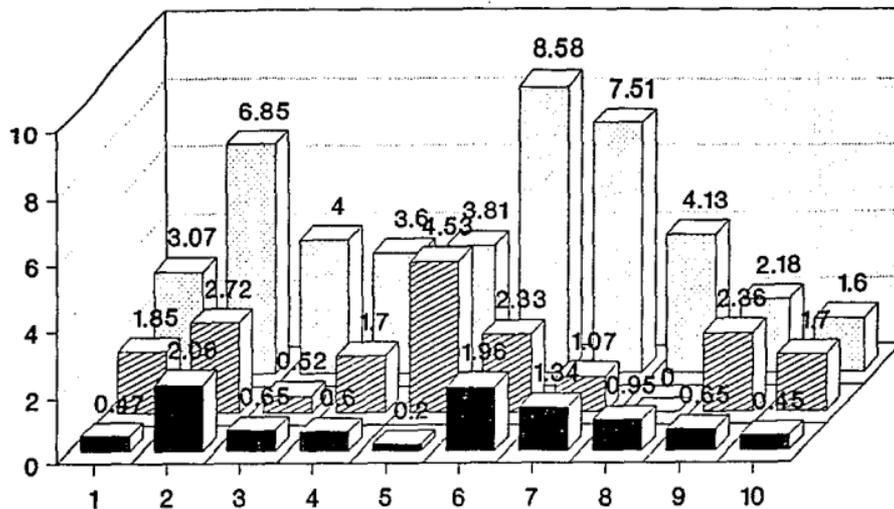
4_ Palacios, Oscar, CP.

Destaca el estudio de García Zuñiga, donde los niveles mínimos de los metales son de traza y el máximo no llegan ni a 1 ppm, son altos los valores para plomo y cromo recomendados por la OPS, así mismo para zinc (Friberg).

Cuadro 20. Contenido de metales en suelos en el valle del Mezquital.

Fuente	Año	Pb	Cd	Cr	Fe	Zn
Mendes, Garcia	1980	204				
Mascareño, Castro	1974	3.63	0.02	tr		
Acosta, Lara	1980	3.08	3.354	0.602		
Garcia, Zuñiga (X)	1987	0.36	0.165	0.145		
Este estudio	1992	min tr	tr	tr	tr	1.91
		max 3.46	1.96	8.35	7.91	11.5

CONCENTRACION DE METALES EN SUELOS



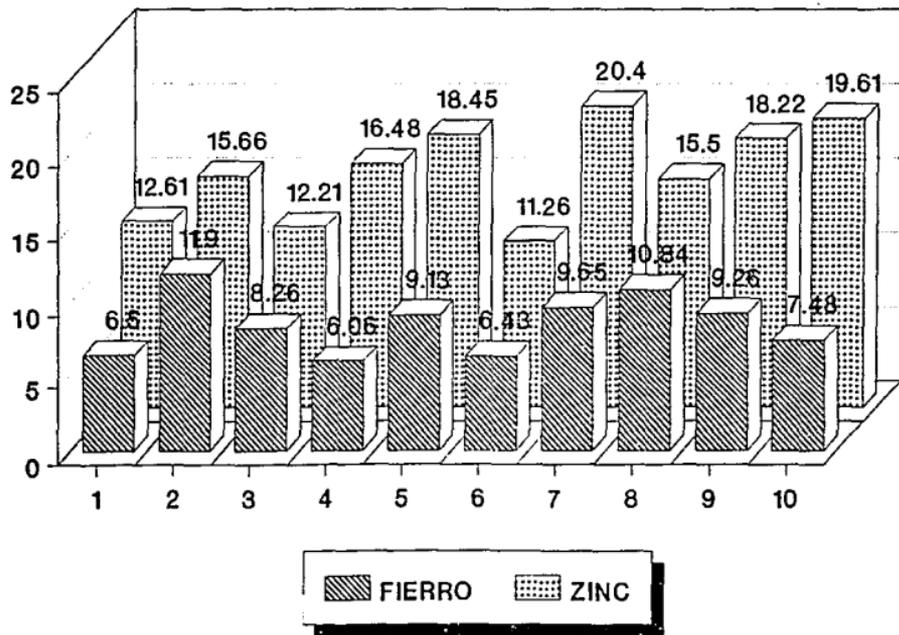
■ CADMIO ▨ PLOMO □ CROMO

ppm

SITIOS DE MUESTREO A 60cm DE PROFUNDIDAD

LAMINA 9

CONCENTRACION DE METALES EN SUELOS

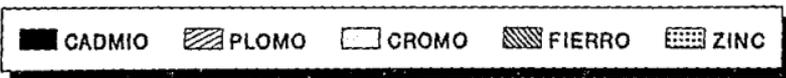
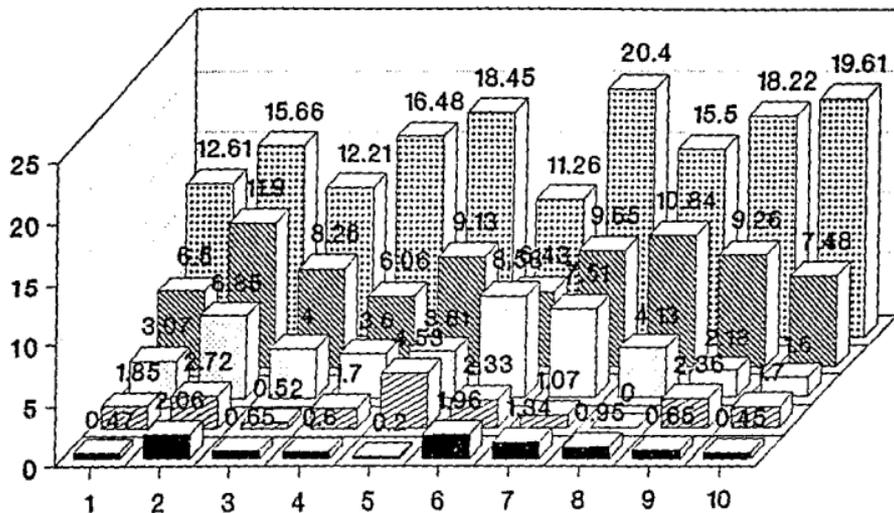


ppm

SITIOS DE MUESTREO A 60cm DE PROFUNDIDAD

LAMINA 10

CONCENTRACION DE METALES EN SUELOS

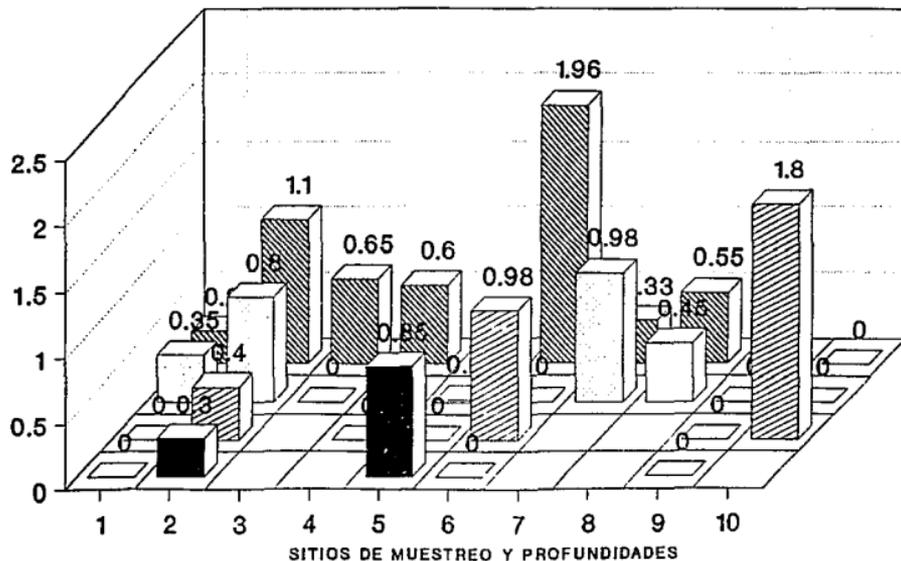


ppm

SITIOS DE MUESTREO A 80cm DE PROFUNDIDAD

LAMINA 11

CONTENIDO DE CADMIO EN SUELOS

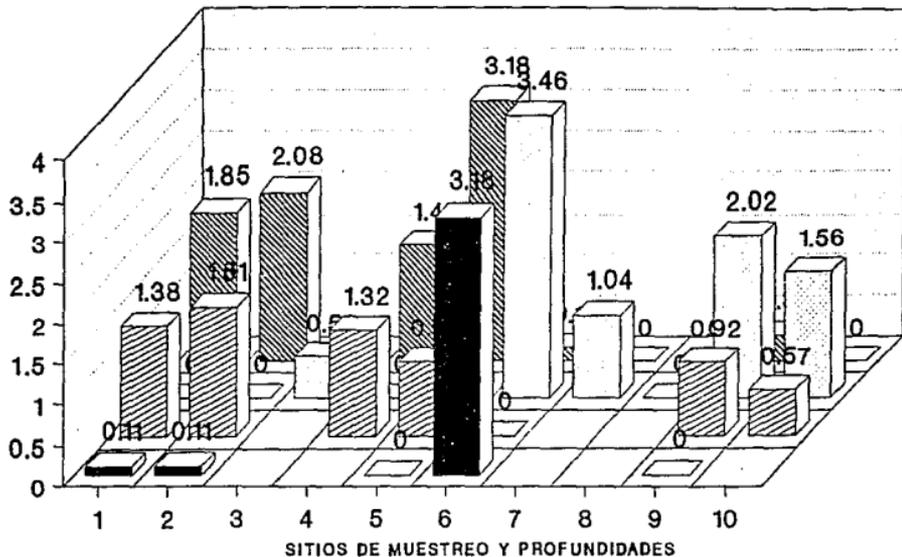


CUARTA
 TERCERA
 SEGUNDA
 PRIMERA

ppm

LAMINA 12

CONTENIDO DE PLOMO EN SUELOS

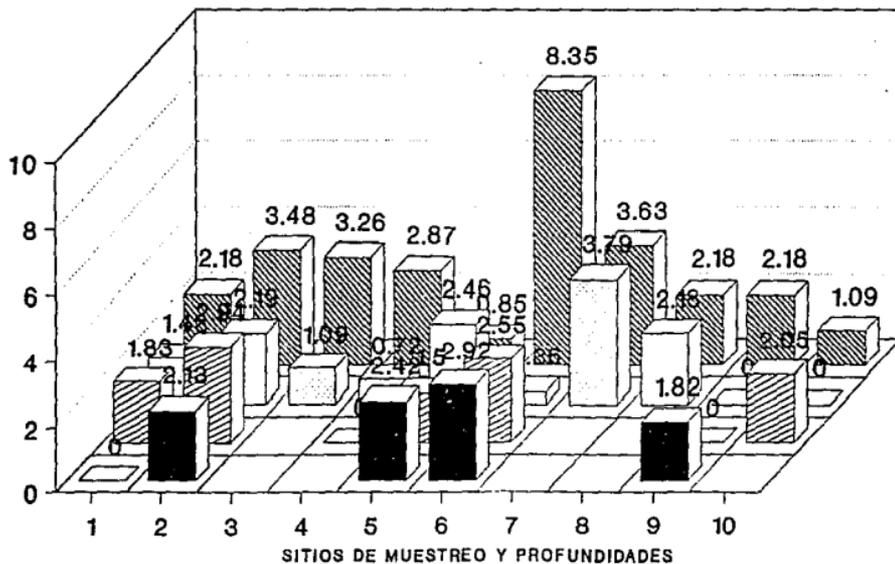


CUARTA
 TERCERA
 SEGUNDA
 PRIMERA

ppm

LAMINA 13

CONTENIDO DE CROMO EN SUELOS



■ CUARTA

▨ TERCERA

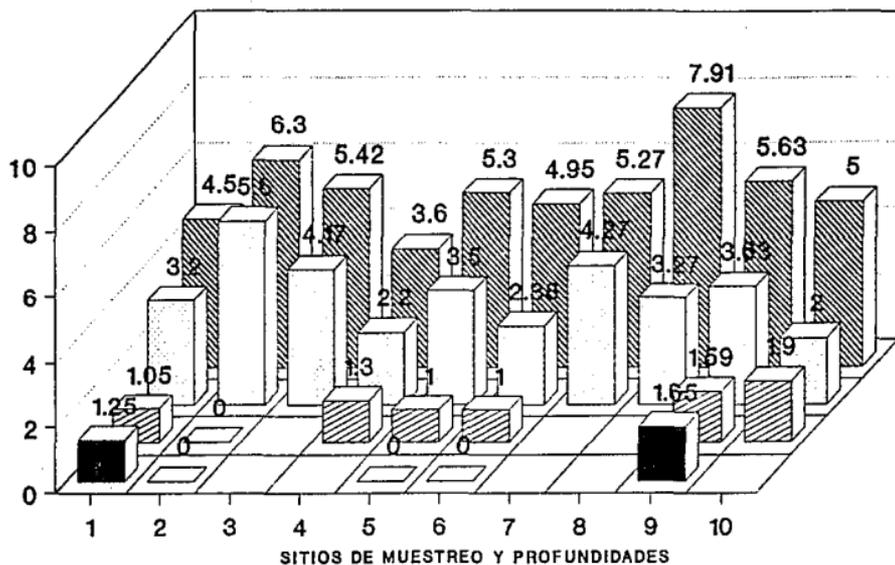
□ SEGUNDA

▩ PRIMERA

ppm

LAMINA 14

CONTENIDO DE FIERRO EN SUELOS

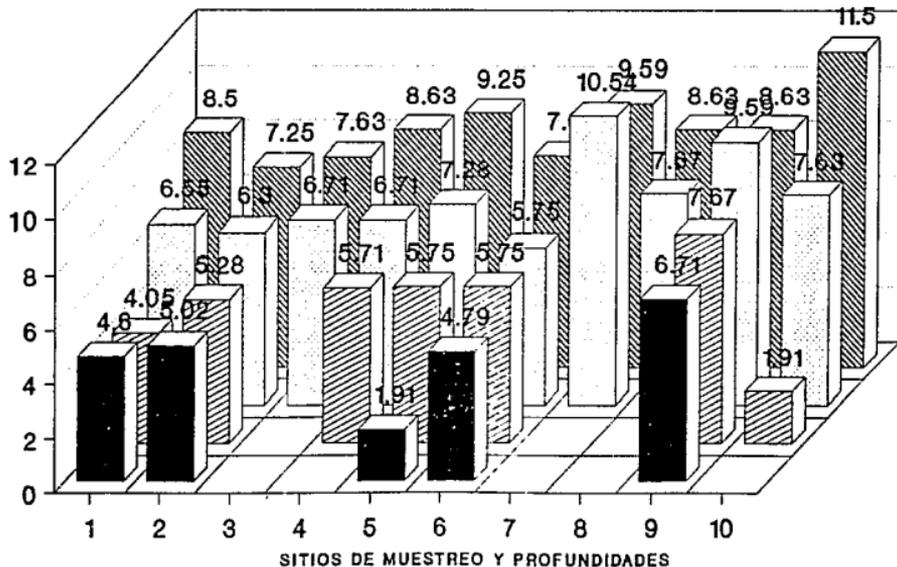


CUARTA
 TERCERA
 SEGUNDA
 PRIMERA

ppm

LAMINA 15

CONTENIDO DE ZINC EN SUELOS



CUARTA
 TERCERA
 SEGUNDA
 PRIMERA

ppm

LAMINA 16

Uno de los criterios de análisis fue el considerar una profundidad del suelo de 60 cm, por ser ahí donde se encuentra una buena cantidad del sistema radicular por donde absorben la mayor cantidad de nutrientes para los cultivos. La concentración se determinó con la suma las profundidades a que se muestreo hasta llegar a 60 cm; la distribución del cadmio, plomo y cromo en la zona de estudio se observan en la lámina 9, todos estos metales presentaron tendencias a aumentar en los puntos 1, 2, 4, 5 y 6, y a disminuir en los puntos 3 y del 7 al 10, lo que refleja que los suelos tienden a disminuir la concentración de metales desde la fuente hasta el punto más lejano; pese a que se observó una zona de nuevos aportes de contaminantes.

La concentración de hierro y zinc, en todas las zonas de estudio no presentó cambios drásticos desde la fuente de origen de contaminación que es la zona industrial, hasta el punto más lejano, ver lámina 10.

En la lámina 11 se observa los niveles más altos de zinc y hierro disminuyendo para cromo, plomo y cadmio; aunque en el agua residual el zinc no se encontrara en altas cantidades (presentó menos de 0.5 ppm).

Las concentraciones determinadas para el cadmio fueron de traza a 1.96 ppm, la OPS (1991) reporta 0.007-0.5 ppm por lo que se supera ese límite recomendado, los estudios en el valle del Mezquital de Acosta(1980), Mascareño (1973) y García (1987) reportan 3.3, 0.02 y 0.165 ppm respectivamente, por lo que los límites encontrados superan a estos dos últimos autores; es decir, el cadmio rebaza generalmente los límites encontrados en diferentes estudios y las recomendaciones.

El plomo encontrado fue de traza a 3.46 ppm, la OPS recomienda límites de 5 a 25 ppm y los estudios en el valle del Mezquital reportados por los autores anteriores son de 3.6 ppm, por lo que los niveles encontrados están cerca del límite fijado por la OPS y es similar a los estudios del valle.

El cromo es recomendado en concentraciones de 65 ppm por la OPS, lo que es un dato muy alto dado los resultados encontrados en Hidalgo, que van de traza a 0.6 y en la zona estudiada de traza a 8.31, superando la concentración anterior. En este momento el cromo presenta concentraciones más altas que las de cadmio y plomo de este estudio. Los máximos encontrados en cadmio, plomo y cromo se presentaron en el pozo número 6.

El fierro y zinc solo la OPS recomienda concentraciones de 0.07 a 0.5 y de 10 a 300 ppm respectivamente; los rangos de fierro encontrados fueron de tr a 7.91 ppm superando con mucho la recomendación; el zinc presentó los niveles más altos en toda la zona con rangos de 1.91 en pozo 5 y 10 a 11.50 en el 10; en el pozo 7 se presentó dos datos altos para el zinc: 10.5 y 9.5 ppm, según OPS estos contenidos tan altos están en los rangos recomendados.

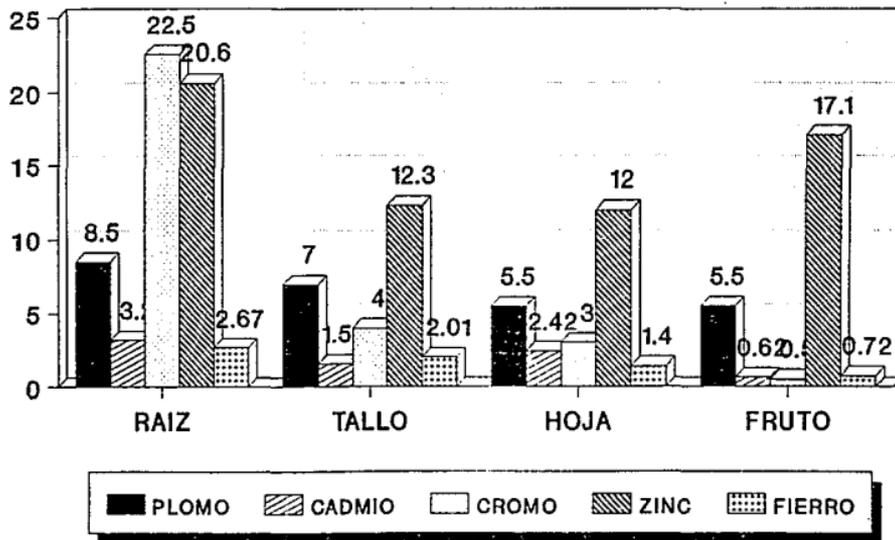
El comportamiento según la profundidad del Cr, Fe y Zn demuestra una mayor acumulación de estos en la primera profundidad, para el cadmio y plomo el comportamiento es variable y se aprecia en las láminas 12 al 16.

Cuadro 21. Determinación de metales pesados en tejidos vegetales.

ORG./CULT.	Pb	Cd	Cr	Zn	Fe
1 MAIZ	8.5	3.20	22.5	20.6	267
2	7.0	1.55	4.0	12.3	201
3	5.5	2.42	3.0	12.0	140
4	5.5	0.62	0.5	17.1	72
1 MAIZ	6.0	2.50	26.0	9.1	480
2	7.5	3.00	4.0	5.5	176
3	10.5	3.20	5.5	10.5	142
4	6.5	0.62	6.0	13.5	71
1 MAIZ	22.0	1.80	13.5	21.1	601
2	16.5	0.72	10.0	8.4	117
3	10.0	1.58	7.0	10.3	188
4	23.0	0.60	6.0	16.3	86
1 C.AZ.	13.0	2.00	9.0	10.3	511
2	12.0	0.35	3.0	3.8	116
3	14.0	0.70	4.0	6.6	181
1 C.AZ.	17.5	1.52	5.0	21.3	844
2	8.0	0.46	3.0	22.5	89
3	10.0	0.40	6.5	38.8	108
1 ARROZ	24.0	3.85	7.0	26.7	510
2	13.0	3.70	7.0	24.5	356
3	11.0	1.52	4.5	9.0	115
4	8.5	0.24	3.0	9.3	70
1 FRIJOL	5.0	0.66	6.5	12.3	817
2	3.5	2.10	2.0	16.4	100
3	4.0	2.45	9.0	13.6	235
1 CEBOLLA	9.5	0.55	6.0	11.4	56
2	13.5	0.00	5.0	12.2	141
3	6.5	0.20	13.5	16.4	276
1 JICAMA	15.5	1.86	7.5	5.8	62
2	23.0	0.01	4.5	10.1	92

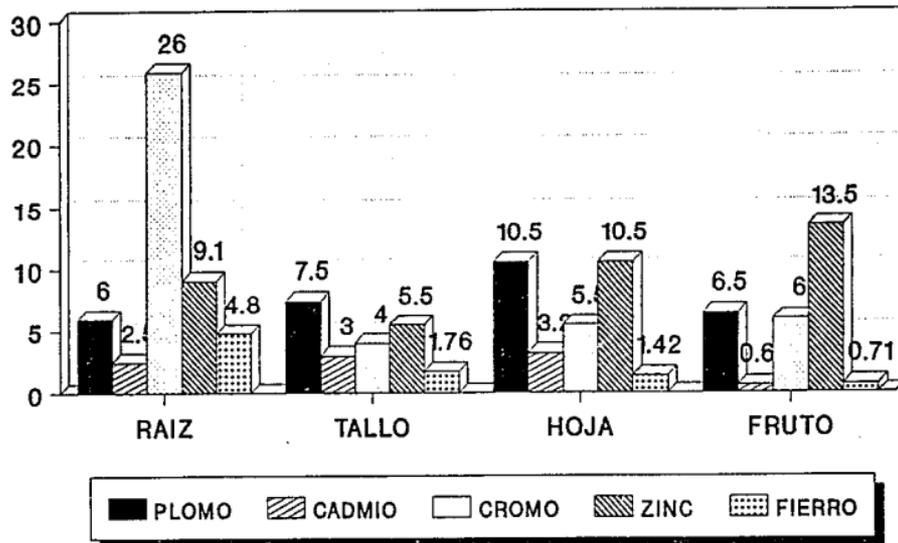
1_ raíz, 2_ tallo, 3_ hoja, 4_ fruto .

CONCENTRACION DE METALES CULTIVO DE MAIZ /MUESTRA 1



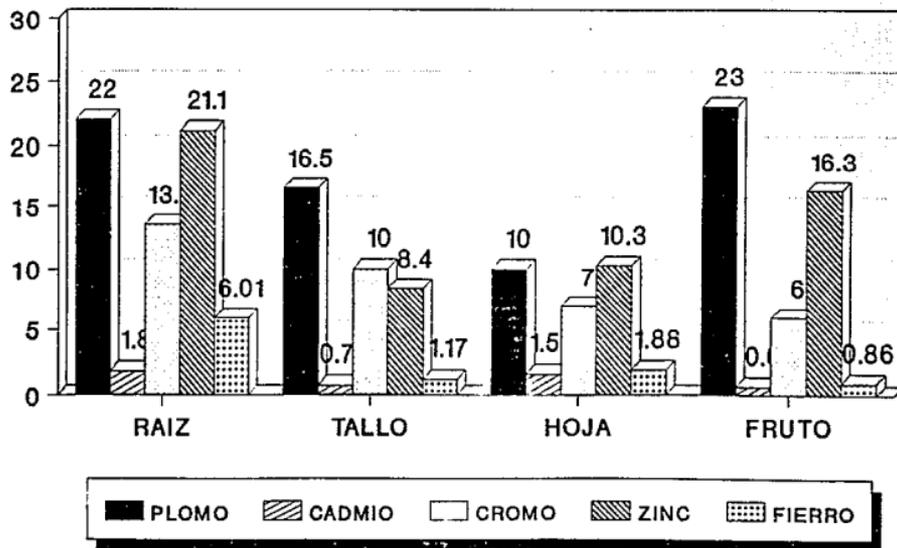
ppm
El fierro está en Cientos.

CONCENTRACION DE METALES CULTIVO DE MAIZ /MUESTRA 2



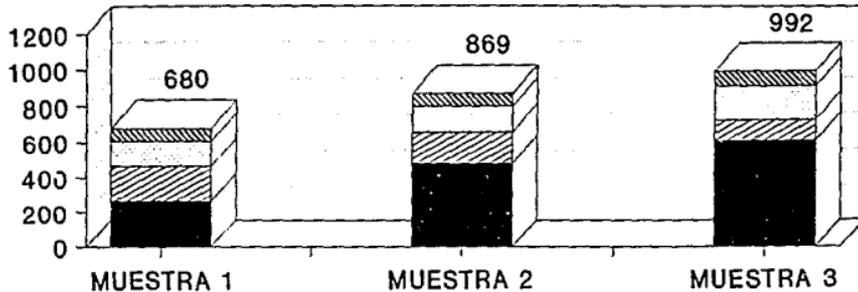
ppm
El Fierro está en cientos.

CONCENTRACION DE METALES CULTIVO DE MAIZ /MUESTRA 3



ppm
El Fierro está en cientos.

CONCENTRACION DE FIERRO EN EL CULTIVO DE MAIZ



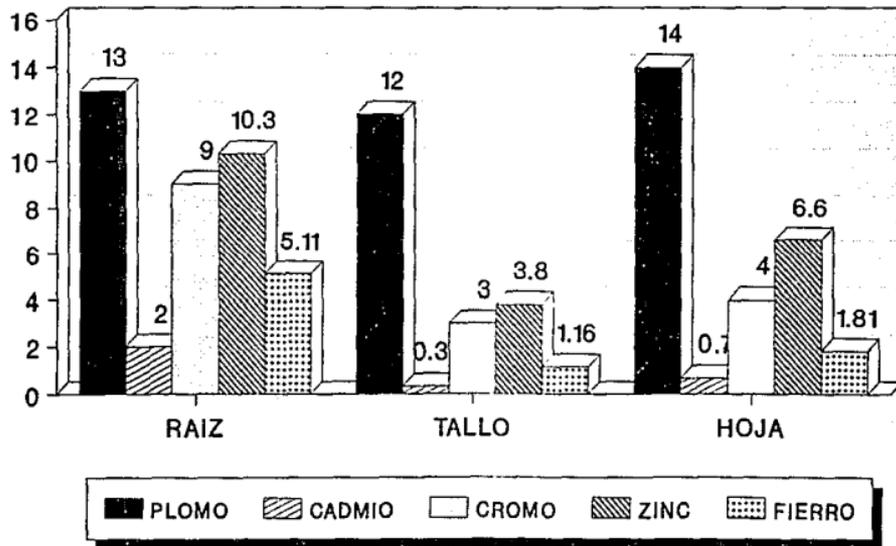
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
FRUTO	72	71	86
HOJA	140	142	188
TALLO	201	176	117
RAIZ	267	480	601

RAIZ
 TALLO
 HOJA
 FRUTO

ppm

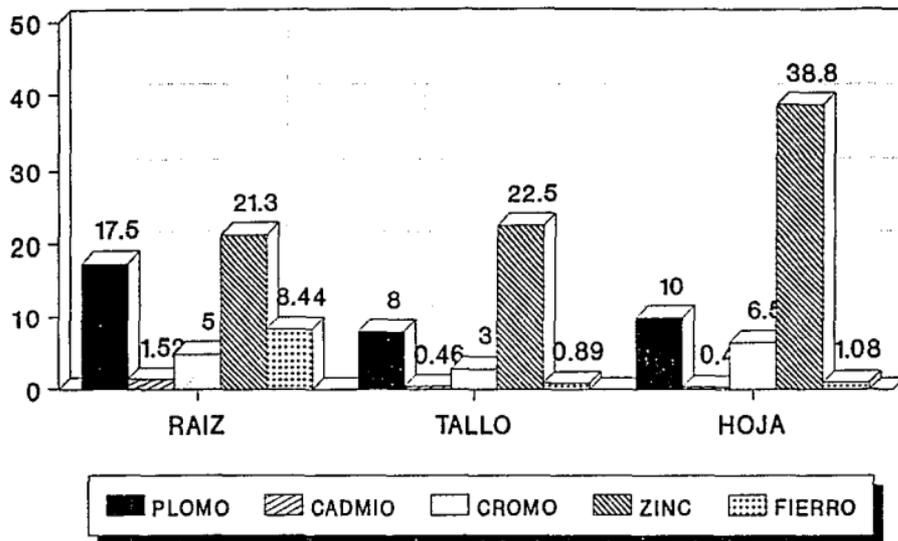
LAMINA 20

CONCENTRACION DE METALES EN CAÑA DE AZUCAR MUESTRA 1



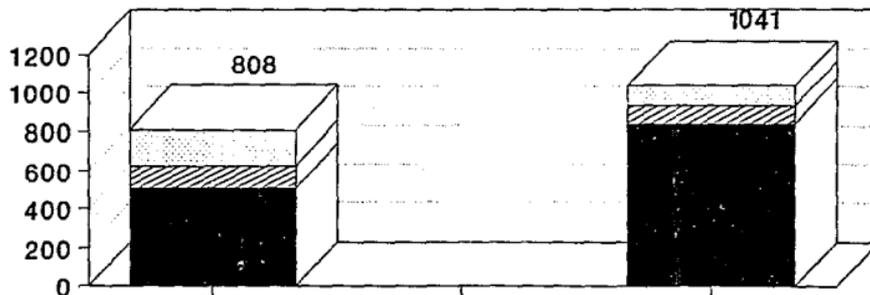
ppm
El Fierro está en Clentos.

CONCENTRACION DE METALES EN CAÑA DE AZUCAR MUESTRA 2



ppm
El Fierro está en Cientos.

CONCENTRACION DE FIERRO EN CAÑA DE AZUCAR



MUESTRA 1

MUESTRA 2

HOJA	181
TALLO	116
RAIZ	511

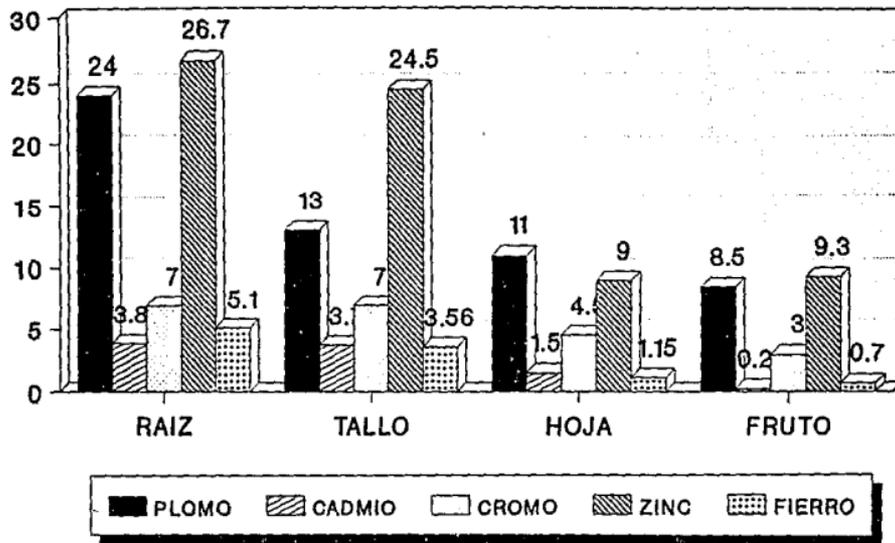
HOJA	108
TALLO	89
RAIZ	844



ppm

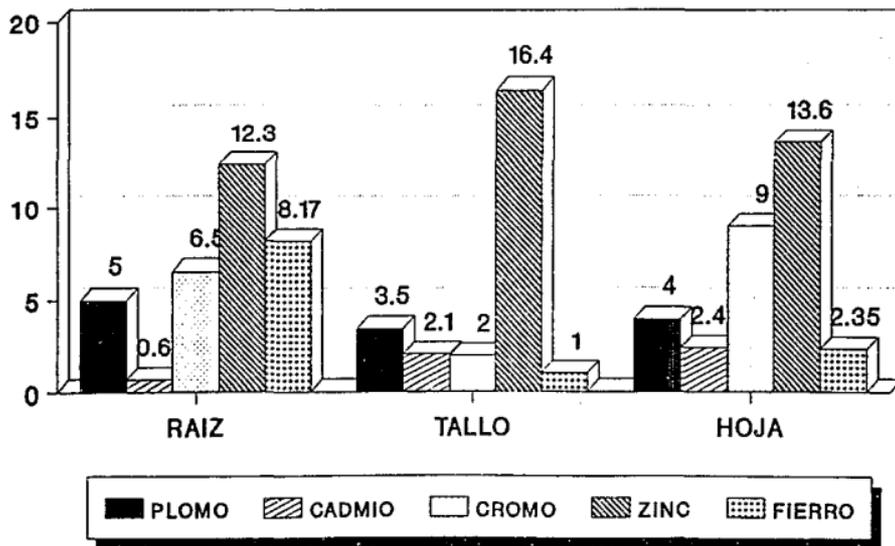
LAMINA 23

CONCENTRACION DE METALES EN EL CULTIVO DE ARROZ



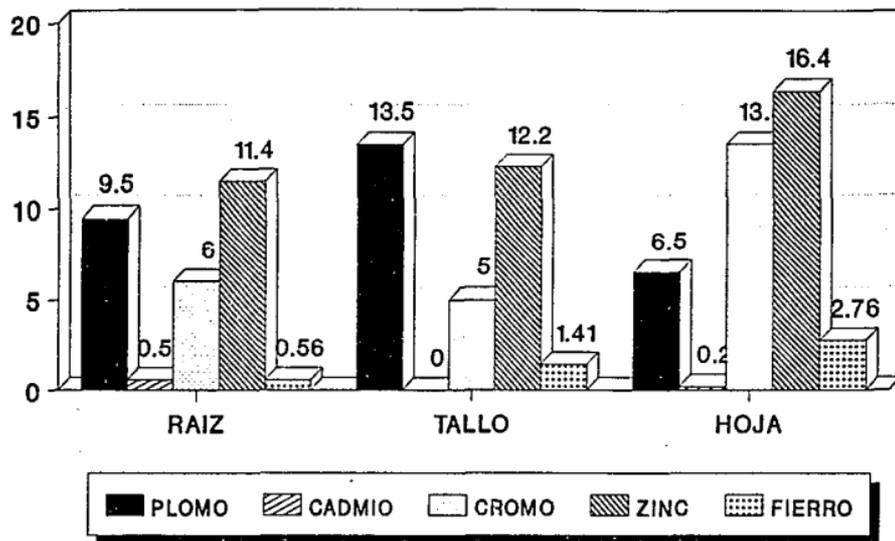
ppm
El Fierro está en Cientos.

CONCENTRACION DE METALES EN EL CULTIVO DE FRIJOL



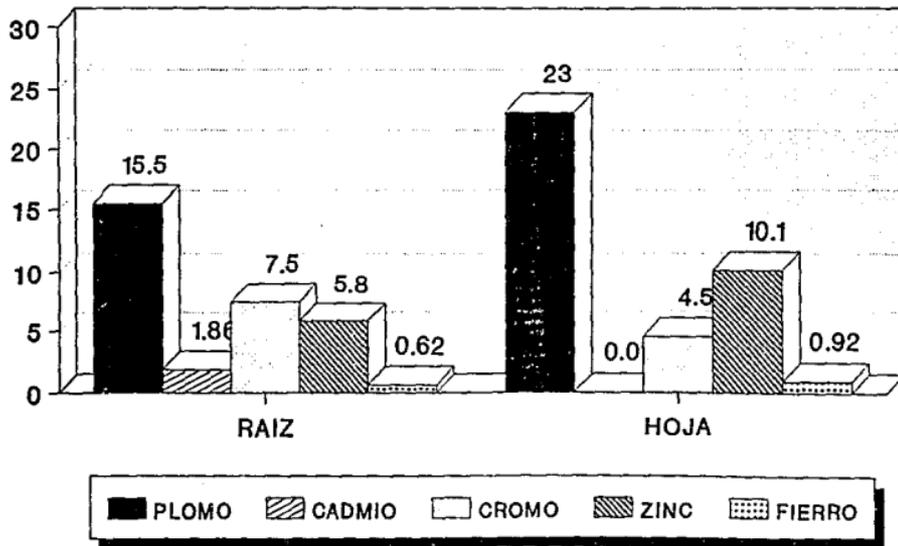
ppm
El Fierro está en Cientos.

CONCENTRACION DE METALES EN EL CULTIVO DE CEBOLLA



ppm
El Fierro está en Clientos.

CONCENTRACION DE METALES EN EL CULTIVO DE JICAMA



ppm
El Fierro está en Centos.

Para determinar la presencia de metales en el cultivo de maíz se contó con tres muestras de los tres municipios y en general los rangos encontrados son de 2 a 20 ppm de plomo, cadmio, cromo y zinc, en raíces, hojas, tallos y frutos, el fierro mostró rangos de 71 a 601 ppm; en el grano sólo el plomo y el zinc superaron al resto de los metales llegando de 5 a 15 ppm, en general en las tres zonas. Al comparar la presencia del fierro entre las tres muestras y tomando como referencia la fuente de contaminantes se aprecia en la lámina 20 un incremento notable de este metal, dado por su acumulación en los sistemas radiculares.

Para la caña de azúcar se colectaron dos muestras, nuevamente el plomo y el zinc se absorbieron más que el cromo y el cadmio, en raíces, tallos y hojas, oscilando de 8 a 17.5 y de 3.8 a 38.8 ppm respectivamente. El fierro fué de 89 a 844 ppm; la presencia de metales fué mayor en raíces que en hojas y tallos. No hubo diferencias significativas entre los metales plomo, cadmio, cromo y zinc, por estar los cultivos en dos municipios, pero el fierro mostró (al igual que el maíz) una tendencia a incrementarse de un área a otra y fué dado por su la acumulación de este metal en raíces, láminas 21 al 23.

El arroz sólo se encontró en una zona, el tercer municipio, Xochitepec que es la región más alejada del estudio, lámina 24 también el plomo y el zinc se absorbieron más que otros metales en raíces, tallos, hojas y frutos; el fierro destacó por sus altos niveles.

La lámina 25 presenta las determinaciones de frijol, que reflejan altos niveles de fierro de 100 a 817 ppm en raíces y la absorción del plomo y zinc y el zinc, también fue alta.

La cebolla y jicama presenta altos niveles de fierro con respecto a los demás metales y buena absorción de plomo y zinc, láminas 26 y 27.

En México no se cuenta con un reglamento que especifique sobre los límites máximos permisibles en cultivos de importancia alimenticia, dado la diversidad de factores que intervienen de carácter económico, político, social y tecnológico. Lo anterior refleja el reto enorme que representa salvaguardar la salud de la población, cuidar el medio ambiente y los recursos, así como elevar la calidad de vida de la sociedad actual y futura.

Las concentraciones de metales pesados en cultivos encontrados por algunos autores son:

Cuadro 22. Contenido de metales de algunos cultivos del valle del Mezquital en Ego.

Cultivo	N. muestra	Pb	Cd	Cr	Zn	Fe
alfalfa	9	26.2	12.3	10.7		
calabaza	2	34.1	10.9	12.7		
chile	7	27.8	12.3	11.1		
frijol	1	36.2	11.8	15.7		
maíz	9	26.7	11.4	8.4		

Fuente. García, Zuñiga.1989.

En este estudio:

frijol	min	4.0	0.66	2.0	12.3	100
	max	5.0	2.45	9.0	16.4	817
maíz	min	5.5	0.60	0.5	5.5	86
	max	23.0	3.20	26.0	21.1	480
c.azúcar	min	8.0	0.35	3.0	3.8	89
	max	17.5	2.00	9.0	38.8	844
arroz	min	8.5	0.24	3.0	9.0	70
	max	24.0	3.85	7.0	26.7	510
cebolla	min	6.5	0.00	6.0	11.4	56
	max	13.5	0.55	13.5	16.4	276
jícama	min	15.5	0.01	4.5	5.8	62
	max	23.0	1.86	7.5	10.1	92

Los contenidos de cadmio encontrados por García, son muy altos en relación a los encontrados en este estudio que van en general de 0.5 a 3.5 ppm; para plomo y cromo aunque se observen altos en la primera fuente, en este trabajo si se alcanzaron de 5.0 a 20.0 ppm en general.

La absorción muy parecida de los diferentes metales pesados independientemente del cultivo de que se trate, los mínimos y máximos son muy parecidos entre cada cultivo.

Otra recomendación de los requerimientos del fierro y zinc para algunos cultivos se detalla a continuación:

Cuadro 23. recomendaciones de los requerimientos de Fierro y Zinc para algunos cultivos.

	(ppm) /	Zn	Fierro
frijol	bajo	18-19	40-49
	suficiente	20-200	50-300
	alto	>200	>300

maíz	bajo	15-19	26-49
	suficiente	20-150	50-350
	alto	>150	>350

arroz	bajo	20-24	70-74
	suficiente	25-50	75-200
	alto	>50	>200

cebolla	bajo	20-24	50-59
	suficiente	25-100	60-300
	alto	>100	>300

Fuente. Plant Analysis Handbook. de J.Benton Jones and Benjamin Wolf, 1985, pag.185.

En el estudio el fierro, el zinc y el plomo se encontraron en concentraciones muy altas, superando casi siempre al cadmio y cromo; al observar estos datos y los resultados del estudio, se determina que los niveles considerados como altos en Fierro para estos cultivos, se superó los niveles altos para el frijol, maíz y arroz; cebolla alcanzó los niveles suficientes. Los contenidos de zinc que fueron siempre altos (junto con los de plomo en relación al resto de los metales), se consideró en frijol y cebolla bajos; en maíz y en arroz suficientes.

Segun los datos del cuadro 24 las concentraciones de metales de este estudio, no alcanzarían los niveles fitotóxicos en ninguno de los cultivos, (el cromo alcanzó y superó el contenido de 20 en dos ocasiones) exceptuando los contenidos de hierro y plomo que no se reportan.

Cuadro 24. Niveles de metales recomendados en plantas.

Elemento(ppm)	Zn	Pb	Cd	Cr
nivel normal	15-150	2-5	0.1-1.0	0.1-1.0
nivel fitotóxico	500-1500	-	5-70	20

Fuente. Colegio de Posgraduados, 1983.

Los excesos para zinc y hierro tambien se mencionan por la siguiente fuente:

Cuadro 25. Niveles requeridos en plantas para zinc y hierro.

Metal (ppm)	Zn	Fe
Deficiente	15	10-80
Normal	10-50	30-150
Exceso	200-500	No Tóxico

Soil Science Principales and Practices; R.L.Hausenbuiller,1973

Los datos de esta fuente en relación al Zn esta relacionado el nivel de exceso con el anterior de J. Benton Jones y al comparar los datos con los contenidos generales de Zn en el estudio, que va de 5-20 ppm se considerarían como normales; en Hierro a pesar de superar con mucho los 150 como normales no se consideran por Hausenbuiller, como peligrosos.

9 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

- Las concentraciones de Pb y Zn en todo el cuerpo de agua no llegan a los máximos permisibles determinados por la legislación mexicana. El cadmio alcanza la norma de 0.01 ppm y en algunas ocasiones la rebaza. Cromo supera la cantidad de 0.01 ppm, establecida por la Norma Técnica Ecológica y no alcanza los límites de 1 ppm reportado por Criterios Ecológicos. El contenido de fierro alcanzó y rebazó varias veces los límites máximos permitidos de 5 ppm.

- Después de la planta de tratamiento de ECCACIV la concentración de los metales en agua disminuye drásticamente, lo que refleja cierta capacidad de remoción de metales pesados por lodos activados. Desde CIVAC hasta ECCACIV se observó una tendencia creciente en la concentración de todos los metales, mientras que en el municipio de Emiliano Zapata y Xochitepec el comportamiento es muy uniforme.

- La concentración de los metales Zn y Fe de los diferentes suelos muestreados, no presentaron variaciones drásticas en relación al origen de la contaminación y fueron los más altos; Cd, Cr y Pb, mostraron tendencias crecientes y decrecientes disminuyendo en los últimos cinco puntos de muestreo.

- El suelo presento altos niveles de Zn, apesar de que este elemento no se encontró en alta concentración en el agua de riego, le sigue en importancia el Fierro, y finalmente el Plomo, Cadmio y Cromo.

- La concentración de los cinco metales fue casi siempre mayor en los primeros estratos, disminuyendo con la profundidad generalmente.

- Al comparar las concentraciones con las recomendaciones de la OPS se concluye que el cadmio y el fierro superan lo recomendado, plomo y cromo no lo rebazan y el zinc que presentó el mayor contenido, alcanzó la recomendación pero no la superó ya que esta fijada muy alta. Comparando con los estudios del valle del Mezquital, el contenido de plomo y cromo es superado, el cadmio encontrado en la zona alcanza lo reportado y para fierro y zinc no hay dato.

- En todas las raíces, tallos, hojas y frutos de los cultivos los niveles de fierro fueron siempre altos, en relación a resto de los metales analizados.

- El plomo y el zinc que fueron los metales mejor absorbidos por los cultivos (después del fierro), superando generalmente al cadmio y cromo.

- En el cultivo de maíz y caña de azúcar se compararon diferentes muestras distantes de la fuente de contaminación y se presentó una tendencia a incrementarse la cantidad de fierro, provocado por la acumulación en el sistema radicular de esta planta, para el resto de los metales no se observó cambios radicales en estas muestras.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda controlar los aportes y/o tratamientos del fierro, cadmio y cromo principalmente, ya que fueron encontrados en concentraciones cercanas o superiores a los límites máximos permisibles en agua.

- El realizar los planes de ECCACIV de separar agua pluvial y residual, así como ampliar los módulos de tratamiento y en consecuencia aumentar el tiempo de retención, podría dar resultados muy favorables.

- Sería recomendable monitorear las descargas de aguas residuales industriales que no pasan por ECCACIV y que se mezclan con el agua tratada de esta planta, llegando a los municipios de estudio donde se utilizan para el riego.

- Para legislar en relación a los contenidos de metales pesados en suelos y plantas, es necesario empezar a generar estudios técnicos que reflejen en forma muy particular los efectos de los diferentes metales tóxicos en cultivos y variedades de importancia alimenticia, ya que hoy en día sólo se cuenta con muy pocos estudios y muy generales, sobre el riesgo de regar con aguas industriales.

- Para el caso de suelos y cultivos es necesario contar con parámetros como normas de control y evaluación, que permitan decidir que concentraciones y condiciones, son perjudiciales y elaborar así los reglamentos que permitan cuidar los recursos naturales y la salud pública.

BIBLIOGRAFIA

Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (1991). Cuadernos técnicos, Ingeniería y medio ambiente, N.3 "AGUA LIMPIA ESTRATEGIA NACIONAL".

Calderón, José Luis. (1991). Memoria del taller agua y desarrollo agrícola sostenido. Cd. Obregón Sonora. "Programa agua limpia y el manejo del agua residual".

Arango Maldonado, José Manuel. (1990). Taller Internacional de reuso del agua en la agricultura. Experiencia México-Israel. Ponencia "Panorama general sobre la reutilización del agua en el riego agrícola, en México".

SARH. (1984). Manual de aprovechamiento de las aguas residuales en el riego agrícola.

García Ollervides, Jesús. IMTA (1990). Estudio de laboratorio de la Calidad del agua en la Cuenca del Apatlaco.

Diario oficial. (1990). Reglamento para el aprovechamiento de aguas residuales en el riego agrícola en México.

Tejeda González, Carlos. (1991). Revista de Ingeniería Ambiental. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C. (SMISAAC). El riego con aguas residuales en México: Efectos en la salud y propuesta de soluciones técnicas.

Fernícola Nilda A.G.G. y Jauge Pedro. Organización Panamericana de la Salud. ECO/OPS/OMS. (1991). Nociones básicas de toxicología.

García Zúñiga, Ana María. (1989). Estudio del grado de contaminación por plomo, cadmio y cromo en suelos y tejidos vegetales, por uso de aguas residuales en los municipios de tlaxcoapan, tlahuellipan y atlitlaquia. Hidalgo (Distrito de Desarrollo rural 063).

Lagerwerff, J.V. Contribución de los laboratorios del suelo de E.U. de la división de investigación del suelo y del agua. Micronutrientes. "Plomo, mercurio y cadmio como contaminantes ambientales".

M. Hansen, Anne. En Seminario Internacional Sobre Uso Eficiente del Agua. 1991. IMTA. Modelos químico de migración de plomo en agua superficial.

Corey German y Galvao Luis. (1991). Plomo, serie vigilancia. ECO/OPS/OMS.

Corey German y Galvao Luis. (1991). Cadmio, serie vigilancia. ECO/OPS/OMS/.

Corey German y Galvao Luis.(1991). Cromo, serie vigilancia . ECO/OPS/OMS/. 1991.

Cortina Oscar.(1987). Agunos aspectos de la contaminación del suelo y agua en el valle de Cuernavaca, Mor. tesis.UAEM.

CPNH-SARH.(1979). Perfil del uso del agua en las plantas de nueve industrias.

Cajuste, L. (1988). Contaminación en agua y suelos agrícolas. Memoria del Simposium del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. SMCS, A.C.

Campos Lagunas, Eulogia. (1988). Uso y manejo de los lodos residuales de ECCACIV en el cultivo de plantas de ornato en condiciones de vivero. UAEM.

IMTA. (1990). Estudio de la calidad del agua residual proveniente de la ciudad de Cuernavaca y de la zona industrial de CIVAC.

Sánchez Rojas, Joel. (1989). Estudio técnico para el aprovechamiento de las aguas municipales de Zumpango, Edo. de México, con fines de riego agrícola.

Díaz Zavaleta, Guillermo. (1988). Informe final del proyecto Evaluación del impacto de las sustancias tóxicas en el recurso Hidráulico.

Friberg,Lars; Noderberg. Handbook on the Toxicology of Metals.

Cajuste, lenom y Carrillo González, Rogelio. La contaminación de metales en suelos agrícolas y aguas residuales. Simposium Nacional de Agricultura Sostenible. 1991.

U.S. E.P.A., Walter Quality Criteria. 1973.

N.T.A.C., Waster quality. Federal water pollution control administration. Washinton D.C., 1968.

García Ollervides, Jesús.(1981). Manual para la clasificación de aguas para riego agrícola.

Espinoza, José Manuel.(1988). Uso del agua en Morelos. Ortíz Bautista, Susana.(1988). Diagnóstico de la calidad del río Apatlaco con fines de riego agrícola.

Saldaña Fabela, Pilar.(1991). Evaluación del impacto del plomo sobre la comunidad de peces en los ríos Apatlaco y cuautla estado de Morelos.SMISA.

A N E X O A

ANEXO #1 METODOLOGIA PARA DETERMINAR METALES EN AGUA.USEPA.

EXTRACTO MUESTRAS AGUA

- 250 ml. de muestra (agitar la muestra antes de medir)
- + 3 ml. de HNO₃ concentrado. (Evaporar en la plancha hasta sequedad).
- + 3 ml. de ácido concentrado. (reflujo vidrio de reloj o embudo) repetir cuantas veces sea necesario, según el color de la muestra: oscura 2 ó 3 hasta 4 veces.
- Recuperar con HCl 6N (1:1) lavando bien el embudo, máximo con 10 ml. (a todas las muestras la misma cantidad).
- Llevar a 50 ml. con agua desionizada.
- Filtrar. Papel filtro N.42

Hacer dos blancos con agua desionizada (todos los pasos).

$$\begin{array}{r} 50 \\ \text{FD} \text{-----} = 0.2 \\ 250 \end{array}$$

ANEXO #2 METODOLOGIA PARA DETERMINAR METALES EN PLANTAS.USEPA.

EXTRACTO VEGETAL (apendice #3)

- Pesar 0.5 g de material vegetal.
- Predigerir agregando 2 ml. de H₂O₂, dejar reposar toda la noche.
- Agregar 4 ml. de mezcla binaria H₂SO₄-HClO₄ en relación 4:1 .
- Poner a digerir en la parrilla con plancha con arena.
- Recuperar con agua desionizada, aforando a 25 ml.
- Filtrar con papel Whatman # 42.

$$\begin{array}{r} 25 \\ \text{Factor de Dilución} = \text{-----} = 50 \\ .5 \end{array}$$

ANEXO N. 3 METODOLOGIA EMPLEADA PARA METALES EN SUELOS

PLOMO.

- Se toma un volumen de 50 ml. de agua, que contenga 0.010 a 0.050 ml de plomo, se agrega un ml de ácido clorhídrico (1,1) y se evapora a 40 ml, se prepara un testigo con agua exenta de plomo. A veces se recomienda que se preparen 1 o 2 soluciones patrones que contengan un total de 0.020 y 0.040 mg de plomo para correr la curva.

CADMIO.

- pipetear a un vaso de 150 ml de la muestra digerida, se pasa la solución acuosa a un vaso de 150 ml, se agrega 5 ml de dimetilylioxina, a la capa acuosa contenida en el embudo de separación, se lavan los extractos orgánicos combinados, se pasa una porción adecuada a la solución de cloro.

CROMO.

- Tomar una alícuota de 20 ml de extracto de suelos (o 50 ml si es muestra de agua) agregar a un matraz volumétrico de 50 ml más de 2 ml de solución ácida (difenilcarbazida), aforar con agua destilada, dejar reposar 10 min y leer a una longitud de onda de 540 milimicras en un espectrofotómetro, corriendo testigo a la par con agua destilada en vez de muestra problema.

ZINC.

- Disolver 22.6 g de citrato de amonio en agua, disolver ditizona (difeniltiocarbazona) en un litro de CCl_4 , desecharlo de cada extracción, diluir 2.5 de dietilditio en un litro de agua, utilizar 0.100g de Zn metálico.

FIERRO.

- Se pesa 12.5 g de suelo y se colocan en un matraz de 125 ml con tapon rosca, se agrega 50 ml. de acetato de amonio con pH 4.8, se agita y filtra, se toman 10 ml y se agrega 2 ml de clorhidrato de hidroxilaminay ortofenantrolina y se lee a 510 milimicras en transmitancia.

ANEXO 4.

RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS DE LOS MUNICIPIOS DE JIUTEPEC-E.ZAPATA-KOCHITEPEC.

	POZO 700	SURESTE (SE)	CALERA CHICA	
N. DE MUESTRA	132	133	134	135
PROF.	0-35	35-75	75-125	125-150
DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	1.66	1.67	1.55	1.95
RET.DE HUM.1/3bar (C.C.)%	87.60	81.02	46.80	45.81
RET.DE HUM.15 bar (PMP)%	43.05	40.50	23.02	22.51
HUMEDAD APROVECHABLE %	44.55	40.52	23.78	23.30
ARENA (%)	28.57	39.32	43.10	37.91
LIMO (%)	21.22	3.38	0.67	2.01
ARCILLA (%)	50.21	57.30	56.23	60.08
CLASIFICACION	R	R	R	R
pH EN AGUA 1:2	6.90	6.40	6.40	6.50
MATERIA ORGANICA	5.28	2.00	1.86	1.50
FOSFORO APROV. (ppm)	0.09	0.19	0.26	0.79
CARBONATO DE CALCIO (%)	0.28	0.80	0.00	0.00
C.I.C. (meq/100 gr)	40.20	41.40	42.66	52.20
CALCIO (meq/100 gr)	19.61	16.74	15.22	14.54
MAGNESIO "	9.16	8.59	7.19	6.21
SODIO "	3.78	4.05	5.44	3.59
POTASIO "	0.42	0.21	0.21	0.21
C.E. EXT.SAT. (mmhos/cm)	1.15	0.41	0.52	0.85
pH EN PASTA	6.40	6.20	6.40	6.20
CANT.AGUA A SAT. (%)	146.07	135.84	78.06	76.36

POZO 701 NORESTE (NE) EMILIANO ZAPATA

NUMERO DE MUESTRA	136	137	138	139
PROFUNDIDAD	0-30	30-50	50-75	75-130
DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	1.54	1.27	1.50	1.83
RET. DE HUM. 1/3 bar (C.C.) %	45.56	57.64	59.00	48.49
RET. DE HUM. 15 bar (PMP) %	21.00	28.82	29.50	24.20
HUMEDAD APROVECHABLE %	24.56	28.82	29.50	24.29
ARENA (%)	27.77	35.20	22.39	24.44
LIMO (%)	27.79	10.81	13.31	11.12
ARCILLA (%)	44.44	53.99	64.30	64.44
CLASIFICACION	R	R	R	R
pH EN AGUA 1:2	6.30	6.60	6.80	6.90
MATERIA ORGANICA	4.14	3.64	3.28	2.08
FOSFORO APROV. (ppm)	0.39	0.29	0.19	0.19
CARBONATO DE CALCIO (%)	0.00	0.80	4.30	0.80
C. I. C. (meq/100 gr)	40.40	39.80	40.60	48.40
CALCIO (meq/100 gr)	24.12	22.50	21.47	26.21
MAGNESIO "	10.65	10.60	10.18	16.59
SODIO "	3.78	2.85	2.99	3.10
POTASIO "	1.09	0.74	0.38	0.51
C. E. EXT. SAT. (mmhos/cm)	2.80	1.40	0.73	0.80
pH EN PASTA	6.20	6.30	6.40	6.50
CANT. AGUA A SAT. (%)	70.94	96.07	98.34	80.83

POZO 702 SUR (S) EMILIANO ZAPATA

NUMERO DE MUESTRA	140	141	142	143
PROFUNDIDAD	0-30	30-50	50-80	80-150
DENSIDAD APARENTE(gr/cm3)	1.33	1.46	1.22	1.20
RET.DE HUM.1/3bar (C.C.)%	60.96	69.60	70.74	66.00
RET.DE HUM.15 bar (PMP)%	30.48	34.80	35.37	32.50
HUMEDAD APROVECHABLE %	30.48	34.80	35.37	33.50
ARENA (%)	35.34	27.77	30.95	34.21
LIMO (%)	10.79	27.79	13.38	15.36
ARCILLA (%)	53.87	44.44	55.67	50.43
CLASIFICACION	R	R	R	R
pH EN AGUA 1:2	6.50	6.70	6.60	6.60 -
MATERIA ORGANICA	6.00	5.08	4.70	3.64
FOSFORO APROV. (ppm)	0.49	0.29	0.19	0.69
CARBONATO DE CALCIO (%)	0.00	0.00	0.50	0.10
C.I.C. (meq/100 gr)	42.40	34.60	40.40	37.00
CALCIO (meq/100 gr)	22.49	21.47	18.73	20.12
MAGNESIO "	8.76	8.29	7.74	7.33
SODIO "	2.85	2.15	2.26	2.85
POTASIO "	1.34	0.74	0.38	0.21
C.E. EXT.SAT. (mmhos/cm)	0.85	0.61	0.71	0.95
pH EN PASTA	6.40	6.60	6.50	6.20
CANT.AGUA A SAT. (%)	101.61	116.91	117.39	110.08

POZO 703 OESTE (W) CERRO DEL MIRADOR

NUMERO DE MUESTRA	144	145	146
PROFUNDIDAD	0-30	30-50	50-100
DENSIDAD APARENTE(gr/cm ³)	1.70	1.82	1.54
RET.DE HUM.1/3bar (C.C.)%	50.36	47.33	49.08
RET.DE HUM.15 bar (PMP)%	30.21	23.66	24.50
HUMEDAD APROVECHABLE †	20.15	23.63	24.58
ARENA (%)	20.17	20.81	24.94
LIMO (%)	11.10	6.80	13.25
ARCILLA (%)	68.73	72.39	61.81
CLASIFICACION	R	R	R
pH EN AGUA 1:2	6.80	6.60	7.60
MATERIA ORGANICA	2.72	1.72	1.50
FOSFORO APROV. (ppm)	0.09	0.29	0.29
CARBONATO DE CALCIO (%)	0.00	0.00	0.29
C.I.C. (meq/100 gr)	52.00	52.40	46.20
CALCIO (meq/100 gr)	24.92	24.01	23.50
MAGNESIO "	14.14	12.10	8.61
SODIO "	2.99	2.26	5.44
POTASIO "	0.58	0.51	0.51
C.E. EXT.SAT. (mmhos/cm)	1.46	0.53	0.48
pH EN PASTA	6.50	6.50	7.00
CANT.AGUA A SAT. (%)	83.94	78.89	81.81

POZO 704 SUROESTE (SW) EMILIANO ZAPATA

NÚMERO DE MUESTRA	147	148
PROFUNDIDAD	0-30	30-74
DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	1.50	1.06
RET. DE HUM. 1/3bar (C.C.)%	66.00	57.00
RET. DE HUM. 15 bar (PMP)%	32.50	28.50
HUMEDAD APROVECHABLE %	33.50	28.50
ARENA (%)	29.20	30.02
LIMO (%)	11.10	6.80
ARCILLA (%)	61.94	54.17
CLASIFICACION	R	R
pH EN AGUA 1:2	6.50	6.90
MATERIA ORGANICA	6.14	4.60
FOSFORO APROV. (ppm)	0.39	0.59
CARBONATO DE CALCIO (%)	0.10	0.00
C. I. C. (meq/100 gr)	49.80	39.20
CALCIO (meq/100 gr)	20.96	15.86
MAGNESIO "	10.78	10.86
SODIO "	4.05	5.44
POTASIO "	0.38	0.21
C. E. EXT. SAT. (mmhos/cm)	0.10	0.98
pH EN PASTA	6.40	6.80
CANT. AGUA A SAT. (%)	110.08	95.31

POZO 705 OESTE (W) TEZOYUCA

NUMERO DE MUESTRA	149	150
PROFUNDIDAD	0-20	20-59
DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	1.72	1.64
RET.DE HUM.1/3bar (C.C.)%	46.56	39.99
RET.DE HUM.15 bar(PMP)%	23.28	19.00
HUMEDAD APROVECHABLE %	23.28	20.99
ARENA (%)	30.88	28.25
LIMO (%)	8.65	8.97
ARCILLA (%)	60.47	62.78
CLASIFICACION	R	R
pH EN AGUA 1:2	6.90	7.10
MATERIA ORGANICA	3.86	2.42
FOSFORO APROV. (ppm)	0.09	0.19
CARBONATO DE CALCIO (%)	0.80	2.10
C.I.C. (meq/100 gr)	46.40	49.00
CALCIO (meq/100 gr)	21.81	23.16
MAGNESIO "	16.71	17.81
SODIO "	3.23	4.05
POTASIO "	0.38	0.35
C.E. EXT.SAT. (mmhos/cm)	0.32	1.55
pH EN PASTA	6.80	7.10
CANT.AGUA A SAT.(%)	77.61	66.66

POZO 706 NORTE (N) TEZOYUCA

NUMERO DE MUESTRA	151	152	153	154
PROFUNDIDAD	0-35	35-75	75-115	115-150
DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	1.86	1.40	1.62	1.59
RET. DE HUM. 1/3bar (C.C.)%	47.34	43.80	40.33	38.40
RET. DE HUM. 15 bar (PMP)%	23.50	21.50	20.10	19.20
HUMEDAD APROVECHABLE %	23.84	22.30	20.23	19.20
ARENA (%)	26.84	17.45	37.91	40.90
LIMO (%)	9.19	4.72	2.01	9.10
ARCILLA (%)	63.92	77.83	60.08	50.00
CLASIFICACION	R	R	R	R
pH EN AGUA 1:2	6.90	6.70	6.80	7.20 -
MATERIA ORGANICA	3.28	2.86	2.08	1.86
FOSFORO APROV. (ppm)	0.49	0.49	0.39	0.39
CARBONATO DE CALCIO (%)	1.10	0.80	0.00	0.00
C. I. C. (meq/100 gr)	47.00	53.20	55.00	44.00
CALCIO (meq/100 gr)	26.21	26.35	26.43	26.92
MAGNESIO "	16.41	12.57	8.73	12.01
SODIO "	2.47	2.72	1.63	1.74
POTASIO "	0.26	0.35	0.38	0.48
C. E. EXT. SAT. (mmhos/cm)	0.41	0.40	0.69	0.37
pH EN PASTA	6.90	6.70	6.70	7.20
CANT. AGUA A SAT. (%)	78.91	73.00	67.22	64.47

POZO 707 OESTE (W) CHICONCUAC

NUMERO DE MUESTRA	155	156	157	158
PROFUNDIDAD	0-25	25-60	60-120	120-150
DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	1.37	1.51	1.40	1.62
RET. DE HUM. 1/3 bar (C.C.) %	53.91	49.89	43.98	33.89
RET. DE HUM. 15 bar (PMP) %	26.00	24.05	20.50	16.02
HUMEDAD APROVECHABLE %	27.91	25.84	23.48	17.87
ARENA (%)	38.46	23.76	43.69	28.88
LIMO (%)	11.00	17.95	13.52	17.79
ARCILLA (%)	50.54	58.29	42.79	53.33
CLASIFICACION	R	R	R	R
pH EN AGUA 1:2	6.90	6.80	6.50	6.00
MATERIA ORGANICA	3.94	3.72	3.44	3.44
POSFORO APROV. (ppm)	0.59	0.59	0.49	0.49
CARBONATO DE CALCIO (%)	0.50	0.80	0.00	1.00
C.I.C. (meq/100 gr)	43.40	51.60	38.60	41.20
CALCIO (meq/100 gr)	26.04	25.19	24.37	22.66
MAGNESIO "	12.51	11.06	10.77	10.18
SODIO "	2.36	2.36	1.93	1.55
POTASIO "	0.29	0.38	0.90	1.21
C. E. EXT. SAT. (mmhos/cm)	0.50	0.48	0.57	2.50
pH EN PASTA	6.70	6.60	6.50	5.90
CANT. AGUA A SAT. (%)	89.85	83.15	73.31	56.49

POZO 708 NOROESTE (NW) CHICONCUAC

NUMERO DE MUESTRA	159	160
PROFUNDIDAD	0-17	17-65
DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	1.71	1.78
RET. DE HUM. 1/3bar (C.C.)%	49.80	48.60
RET. DE HUM. 15 bar (PMP)%	24.50	24.30
HUMEDAD APROVECHABLE %	25.30	24.30
ARENA (%)	45.05	39.59
LIMO (%)	13.20	11.20
ARCILLA (%)	41.75	49.21
CLASIFICACION	R	R
pH EN AGUA 1:2	6.80	6.80
MATERIA ORGANICA	3.64	2.86
FOSFORO APROV. (ppm)	0.39	0.89
CARBONATO DE CALCIO (%)	0.00	1.10
C.I.C. (meq/100 gr)	40.40	39.48
CALCIO (meq/100 gr)	25.36	24.90
MAGNESIO "	12.22	11.93
SODIO "	1.93	1.82
POTASIO "	0.51	0.51
C.E. EXT. SAT. (mmhos/cm)	0.48	0.98
pH EN PASTA	6.50	6.70
CANT. AGUA A SAT. (%)	83.15	80.83

POZO 709 SÚR (S) CHICONCUAC

NUMERO DE MUESTRA	161	162	163
PROFUNDIDAD	0-25	25-55	55-75
DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	1.70	1.90	1.79
RET. DE HUM. 1/3 bar (C.C.) %	46.19	47.14	43.98
RET. DE HUM. 15 bar (PMP) %	23.09	23.57	21.50
HUMEDAD APROVECHABLE %	23.10	23.57	22.48
ARENA (%)	14.47	13.52	12.94
LIMO (%)	15.36	15.53	15.64
ARCILLA (%)	70.17	70.95	71.42
CLASIFICACION	R	R	R
pH EN AGUA 1:2	7.05	7.60	7.50
MATERIA ORGANICA	3.28	3.00	2.14
FOSFORO APROV. (ppm)	0.09	1.18	0.59
CARBONATO DE CALCIO (%)	2.80	15.00	20.00
C.I.C. (meq/100 gr)	55.20	53.60	51.60
CALCIO (meq/100 gr)	28.91	24.35	22.15
MAGNESIO "	12.40	11.64	10.08
SODIO "	1.87	1.20	2.04
POTASIO "	1.21	1.09	1.67
C.E. EXT. SAT. (mmhos/cm)	0.31	0.70	0.79
pH EN PASTA	7.40	7.50	7.40
CANT. AGUA A SAT. (%)	76.99	78.57	73.31

INDICE DE CUADROS

	Página
1. Programa agua limpia, diagnóstico 1991.....	8
2. Resumen de la infraestructura de tratamiento industrial y municipal.....	12
3. Aguas residuales de las principales ciudades.....	14
4. Norma para el uso de aguas residuales en riego agrícola.....	18
5. Límites máximos de la calidad de las aguas residuales para el riego.....	19
6. Límites máximos de contaminación para la aguas residuales de origen urbano o municipal que se dispongan para el riego agrícola.....	20
7. Inventario de las sustancias tóxicas presente en el estado de Morelos.....	56
8. Industrias ubicadas en el primer distrito de control de la contaminación ECCACIV, 1988.....	62
9. Análisis físico y químico de los lodos residuales de ECCACIV.....	64
10. Análisis microbiológico de los lodos residuales de ECCACIV 1987.....	64
11. Parámetros de clasificación de tierras.....	71
12. Sitios de muestreo de aguas.....	73
13. Zonas de muestreo de suelos.....	74
14. Zonas de muestreo de plantas.....	75
15. Determinación de metales pesados en agua.....	78
16. Límites máximos permisibles de metales pesados en agua.....	78
17. Contenido de metales en aguas residuales de la ciudad de México.....	79
18A Determinación de metales pesados en suelos.....	87
18B Determinación de metales pesados en suelos.....	88
19. Recomendaciones y estudios de metales pesados en suelos.....	89
20. Contenido de metales en suelos en el valle del Mezquital Hidalgo.....	89
21. Determinación de metales pesados en tejidos vegetales.....	100
22. Contenido de metales de algunos cultivos del valle del Mezquital en Hidalgo.....	113
23. Recomendaciones de los requerimientos de fierro y zinc para algunos cultivos.....	114
24. Niveles de metales recomendados en plantas.....	115
25. Niveles requeridos en plantas para zinc y fierro.....	115

INDICE DE LAMINAS

	Página
1. Programa agua limpia.....	9
2. Programa agua limpia.....	10
3. Concentración de plomo en agua.....	80
4. Cadmio en agua.....	81
5. Cromo en agua.....	82
6. Zinc en agua.....	83
7. fierro en agua.....	84
8. Concentración de metales en agua.....	85
9. Cadmio, cromo y plomo en suelos a 60 cm	90
10. Fierro y zinc en suelos a 60 cm	91
11. Todos los metales a 60 cm	92
12. Cadmio a diferentes profundidades.....	93
13. Plomo a diferentes profundidades.....	94
14. Cromo a diferentes profundidades.....	95
15. Fierro a diferentes profundidades.....	96
16. Zinc a diferentes profundidades.....	97
17. Metales en el maíz muestra 1.....	101
18. Metales en el maíz muestra 2.....	102
19. Metales en el maíz muestra 3.....	103
20. Concentración de Fierro en muestra 1, 2 y 3.....	104
21. Metales en caña de azúcar muestra 1.....	105
22. Metales en caña de azúcar muestra 2.....	106
23. Fierro en zona 1 y 2 para caña de azúcar.....	107
24. Metales en el cultivo de arroz.....	108
25. Metales en frijol.....	109
26. Metales en cebolla.....	110
27. Metales en jicama.....	111

INDICE DE FIGURAS

	Página
1. Vías de absorción, distribución y eliminación de agentes tóxicos en el organismo humano.....	27
2. Importancia del plomo admosférico en la contaminación global del ambiente y el aporte de plomo en el organismo.....	32
3. Vías de absorción, distribución y eliminación del plomo en el organismo humano.....	33
4. Zonas con mayor problemática de contaminación del agua en el estado de Morelos.....	54
5. Balance hidrológico en Morelos.....	58
6. ECCACIV. Planta de tratamiento de aguas residuales de CIVAC.....	61
7. Unidades de suelos.....	67

